

**EESTI MAAÜLIKOOL**  
**Tehnikainstituut**



**XIV MAGISTRANTIDE TEADUSKONVERENTS**  
**INIMENE JA TEHNOLOOGIAD**

**Artiklite kogumik**

**Tartu 2020**

Eesti Maaülikool

Tehnikainstituut

XIV Magistrantide teaduskonverents INIMENE JA TEHNOLOOGIAD

Keskkonnas Zoom 16.04.2020

**TOIMKOND**

esimees:	lektor	Küllli Hovi		
liikmed:	doktorant	Heino Pihlap	magistrant	Helina Turja
	doktorant	Siim Muiste	magistrant	Valmar Kütt
	doktorant	Keio Küüt	magistrant	Anneli Uiboleht
	doktorant	Tormi Lillerand		
	doktorant	Anni Enn		
sekretär:		Heli Saaremets		

**SISUKORD**

ENERGIAKASUTUS .....	5
Tartu avalike kiirlaadimisjaamade kasutuse analüüs.....	5
A. Bondar .....	5
Ülekäiguradade valguse spektrid.....	17
R. Feldman <sup>1</sup> , E. Jõgi <sup>1</sup> , M. Reinvee <sup>2</sup> .....	17
Samm-mootori juhtimine mikrosammtalitusel.....	22
T. Heering .....	22
Varutoite generaatorite testkoormuste ühenduspunktide ehitamine ja koormustestid ..	28
O. Kivisikk .....	28
Päikeseelektrijaama tootlikust mõjutavad tegurid .....	37
L. Kolberg .....	37
Valga raudteejaama välisvalgustuse probleemid.....	44
M. Roosik.....	44
Tootmisandmete kogumine .....	49
A. Sirel, V. Palge.....	49
Temperatuuride mõõtmine Arduino Uno plaadiga.....	55
H. Turja .....	55
Nanohübriidide poolt genereeritud voolu mõõtmine.....	62
T. Viidalepp <sup>1</sup> , A. Allik <sup>1</sup> , E. Rauwel <sup>2</sup> , P. Rauwel <sup>2</sup> .....	62
ERGONOOMIKA.....	67
Hingamisteede ohutegurid põllumajanduses .....	67
J. Udeküll <sup>1</sup> , Prof. E. Merisalu <sup>1</sup> .....	67
Skeletilihaskoevuste seosed individuaalsete ja tööga seotud teguritega regulaarse tervisekontrolli läbinud töötajate hulgas.....	77
A. Uiboleht <sup>1</sup> , E. Merisalu <sup>1</sup> .....	77
Raskuste käsitsi teisaldamise hindamismeetodite võrdlus .....	89
A. Viks, M. Reinvee.....	89
TOOTMISTEHNICA.....	96
Membraanmootori silindrimahu muutuse modelleerimine .....	96
R. Allmägi .....	96
Geomeetria tolerantside rakendamine tootearenduses.....	102
S. Kuk, T. Leemet .....	102

Trendid põllumajandusmasinate elektrifitseerimises .....	107
A. Mirk, J. Olt .....	107
Reaktsiooniajad robotiseeritud töörahu väljalasketakti leidmiseks .....	114
P. Pihlakas, I. Virro .....	114
Taastuva elektri energia kasutus Eestis praegu ja tulevikus .....	120
R. Tarum .....	120
Sõiduki automaatseks juhtimiseks kontrolleri abil ette valmistamine .....	127
O. Tors, I. Virro .....	127

## ENERGIAKASUTUS

### Tartu avalike kiirlaadimisjaamade kasutuse analüüs

A. Bondar

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

#### Abstract

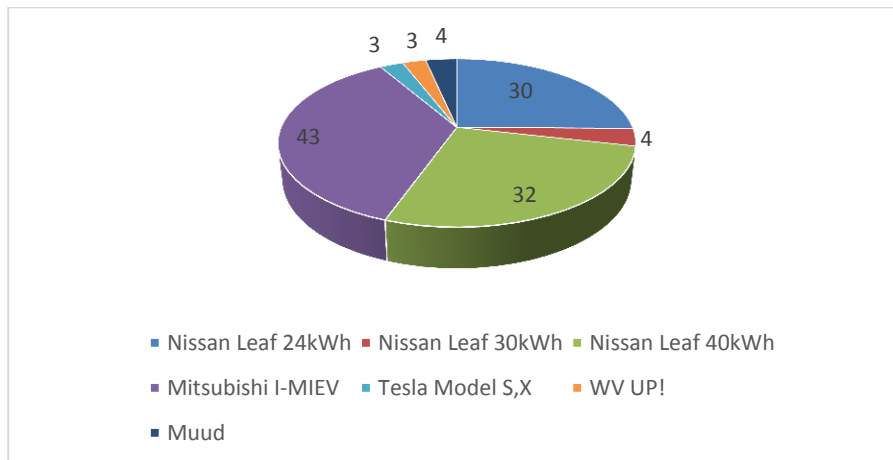
The present paper focuses on the charging opportunities of the electric vehicles in Tartu. The main aim is to analyse the usage of the public fast charging stations, to find whether the stations are spread evenly in the city's environment and if there are enough charging stations to meet the needs of the electric vehicle owners. The paper provides an overview of the electric vehicle amount in Tartu, the proportion of the cars used by electric taxi firm and ordinary people. It also provides information on the location of the public charging stations and some statistics on their usage based on daily and monthly data. The paper concludes that there are enough public charging stations to meet the need of the electric vehicle owners, although their location is not even throughout the town. It also was discovered, that the public charging stations are rather used by the taxi drivers than the ordinary drivers.

**Keywords:** electric vehicle, public fast charging station, electric taxi, Tartu.

#### SISSEJUHATUS

Kaasaegses maailmas on elektriautod saanud liikluse lahutamatuks osaks. Elektriautode laadimisvõimaluse tähtsus linna keskkonnas paramatult kasvab. Antud töö eesmärgiks on teha kokkuvõtte elektriautode laadimisvõimalusest Tartu linna keskkonnas. Uurida, kas kiirlaadijad on võrdselt jagatud Tartu rajoonide vahel ning kas nende arv rahuldab tänapäeva vajadusi.

Aasta 2019 30. novembri seisuga oli Tartus registreeritud 118 elektriautot [1].  
[Joonisel 1 on väljatoodud aastal 2019 enamlevinud elektriautomudelid Tartus.](#)



**Joonis 1.** [Enamlevinud elektriautomudelid Tartus aastal 2019](#) [1].

*Pic. 2. The most popular models of the electric vehicles in Tartu in 2019*

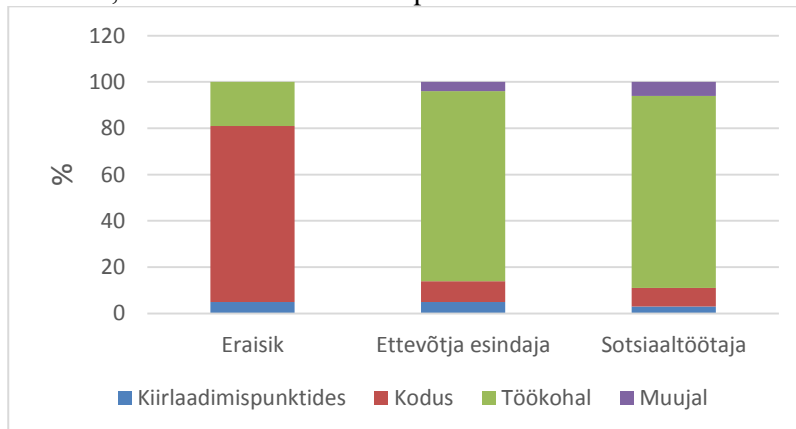
Aastal 2019 enamlevinud elektriauto Tartus oli Mitsubishi I-MIEV, neid oli kokku 43 tk. Nendest 35 Mitsubishi i-MIEV elektriautot kuulub sotsiaal- ja tervishoiuosakonnale. Kuna sellele elektriautodele on rajatud oma laadimiskohad ametiasutuste autoparklades tavaliselt need autod ei kasuta avalike kiirlaadijaid [2].

Sel viisil jääb 83 elektriator, mis võivad kasutada avaliku elektrilaadijad.

Nendest kõige suurem osa, peaaegu 80%, moodustavad Nissan Leaf 24kWh, 30kWh ja 40kWh elektriautod.

Tartu linnas tegutseb taksofirma Elektritakso, mis kasutab põhiautodena Nissan Leaf elektrisõidukeid. Tänapäeval taksofirma autopargis on 30 elektriautot, millest suurim osa on Nissan Leaf 40kWh.

Nagu näitab statistika inimesed eelistavad laadida oma elektriautosid pigem kodus või töökohal, kui avalikes kiirlaadimispunktides. Seda kinnitab ka Eestis tehtud uuring [3].



**Joonis 2.** Elektriautode omanike laadimise eelistused [3].

*Pic.2 The electric vehicle owners charging preferences*

Elektrilaadimine kodus on odavam kui avalikute kiirlaadijatega, aga laadimisaeg on pikem, kuna kodus laadimisvõimsus on piiratud toitevõrgu läbilaskevõimsusega.

Tabelis 1 on välja toodud aeg, mis kulub erineva aku mahutavusega elektriautode laadimiseks.

**Tabel 1.** Elektriautode laadimisaega sõltuvus laadimisvõimsusest [4].

*Table 1. The charging time dependance on the charging station power*

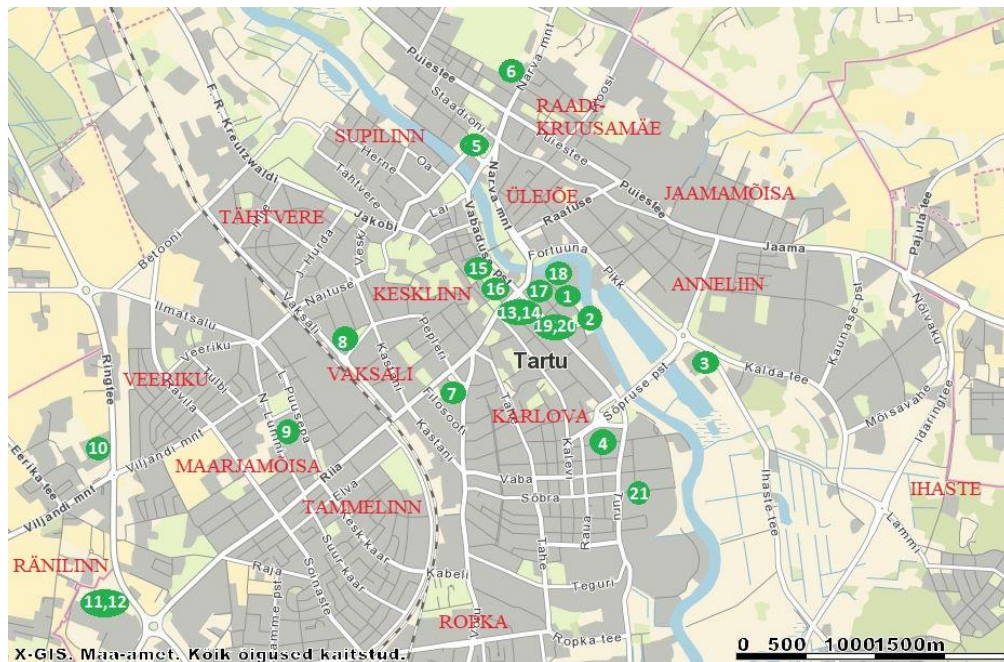
Aku mahutavus kWh	Laadimisaeg, h			Laadimisaeg, min
	Kodulaadija 3kW/16A/230V	Kodulaadija 11kW/16A/400V	Poolkiiralaadija 22kW/32A/400V	Kiiralaadija (DC) 50kW/120A
20-30	7-8,5	2,4-3	1,75	30
30-40	7,5-15,5	4,5	2,65	45
> 40	25-33	7-9,5	4,5-6,5	85-110

Tabelis 1 on nähtav, et mida suurem elektriauto akumahutavus seda rohkem aega on vaja elektriauto laadimiseks. Selliselt kiiralaadijate kasutamine on mõistlik, kui on vaja kiiresti elektriautot laadida.

## MATERJAL JA METOODIKA

Tartu avalike laadijate analüüsi aluseks on võetud statistika andmed Tartu Linnavalitsuse- ja ELMO kiiralaadijate andmebaasist [5,6].

Tänapäeval Tartus on 21 avalikku elektriautode laadimispunkti, kiir- ja poolkiiralaadijatega. Suurema osa neist saab kasutada ööpäevaringselt, v.a Tasku ja Kvartali kaubanduskeskuste parklatesse paigaldatud laadijaid. Need on kättesaadavad ainult kaubanduskeskuste lahtiolekuaja jooksul. Joonisel 3 on näidatud laadijate asukohad Tartu linna kaardil.



**Joonis 3.** Elektrilaadijate asukohad Tartu linnas 2019 aasta seisuga [7,8,9].

*Pic. 3. The charging stations location in Tartu*

Joonisel 3 on näha, et kiirilaadijad on paigaldatud linnas ebaühtlaselt. Suurim osa laadijatest on keskendunud Tartu kesklinna.

Teistes linnaosades on olemas üks või kaks avaliku laadimispunkti. Annelinna, mis on kõige suurem Tartu linnaosa ja piirneb Ihaste elurajooniga on paigaldatud ainult üks kiirlaadimispunkt Eedeni kaubanduskeskuse juurde.

Kõige populaarsem laadijate paigalduskoht linnas on kaupluste ning kaubanduskeskuste parklad. See pole üllatav, kuna elektriauto laadimist saab ühendada poes käimisega.

Tabelis 2 on toodud laadijate asukohad, võimsused ja ühenduspistikute tüübid.

**Tabel 2.** Tartu avalikute laadijate asukohad ja tehnilised karakteristikud [7,8]. Table 2.

*Location and technical characteristics of the public charging strations in Tartu*

Nr.	Aadress	Tüüp
1	AHHAA keskus, Sadama 1	1xCHAdEMO -50kW, 1x Type 2- 22kW
2	Zeppelin kaubanduskeskus, Turu 10	1xCHAdEMO- 50kW, 1x Type 2- 22kW
3	Eeden kaubanduskeskus, Kalda 1c	1xCHAdEMO- 50kW, 1x Type 2- 22kW
4	Rebase Rimi, Rebase 10	1xCHAdEMO- 50kW, 1x Type 2- 22kW
5	Ujula Konsum, Ujula 2A	1xCHAdEMO- 50kW, 1x Type 2- 22kW
6	Raadi Maxima, Narva mnt. 112	1xCHAdEMO- 50kW, 1x Type 2- 22kW
7	Alexela, Era 2a	1xCHAdEMO- 50kW, 1x Type 2- 22kW
8	Raudteejaam, Vaksali 21	1xCHAdEMO- 50kW, 1x Type 2- 22kW
9	TÜ Kliinikum, Puusepa 2	1xCHAdEMO- 50kW, 1x Type 2- 22kW
10	Silberauto, Ringtee 61	1xCHAdEMO- 50kW, 1x Type 2- 22kW



11	Lõunakeskus 1, Ringtee 73	1xCHAdEMO- 50kW, 1x Type 2- 22kW
12	Lõunakeskus 2, Ringtee 73	1xCHAdEMO- 50kW, 1x Type 2- 22kW
13	Kvartal 1, Riia 2	1xCHAdEMO- 50kW, 1x CCS- 50kW
14	Kvartal 2, Riia 2	1xType 2- 11kW, 1xType 2- 11kW,
15	Poe tn. parkla, Poe tn 10	1xCHAdEMO- 50kW, 1x CCS- 50 kW
16	Uueturu parkla, Uueturu	1xCHAdEMO- 50kW, 1x CCS- 50 kW
17	Tasku, Turu 2	1x Type 2- 22 kW
18	Bussijaam, Soola 3a	1xCHAdEMO- 50kW, 1x CCS- 50 kW
19	Turu tn. 1, Turu 10	1xCHAdEMO- 50kW, 1x CCS- 50 kW
20	Turu tn. 2, Turu 10	1xCHAdEMO- 50kW, 1x CCS- 50 kW
21	Telia, Turu 26	1x Type 2- 22 kW

Tavaliselt avalikud kiirlaadimisjaamad on varustatud kahe erineva laadimis pistikuga (CHAdEMO, CCS või Type 2). Üheaegselt saab kasutada ainult ühte nendest. Üldjuhul kõik avalikud laadimisjaamad on mõeldud kiirlaadimiseks alalisvooluga maksimaalse võimsusega 50kW.

Avalikude kiirlaadijate paigaldamise ja teenindamisega Tartu linnas tegelevad kaks ettevõtet Eleport OÜ (endine Elektritransport) ja Enefit Volt (endine ELMO). Enefit Volt kiirlaadijad on varustatud CHAdEMO ja Type 2 ühenduspistikutega. Eleporti kiirlaadijad on varustatud CHAdEMO ja CCS ühenduspistikutega [7,8].

CHAdEMO pistiku tüüpi kasutatakse ainult alalisvooluga kiireks laadimiseks. Seda saab kasutada järgmiste elektrisõidukite laadimiseks: Nissan Leaf, Nissan E-NV200, Mitsubishi iMiev, Peugeot iON, Citroën C-Zero ja KIA SOUL [10].

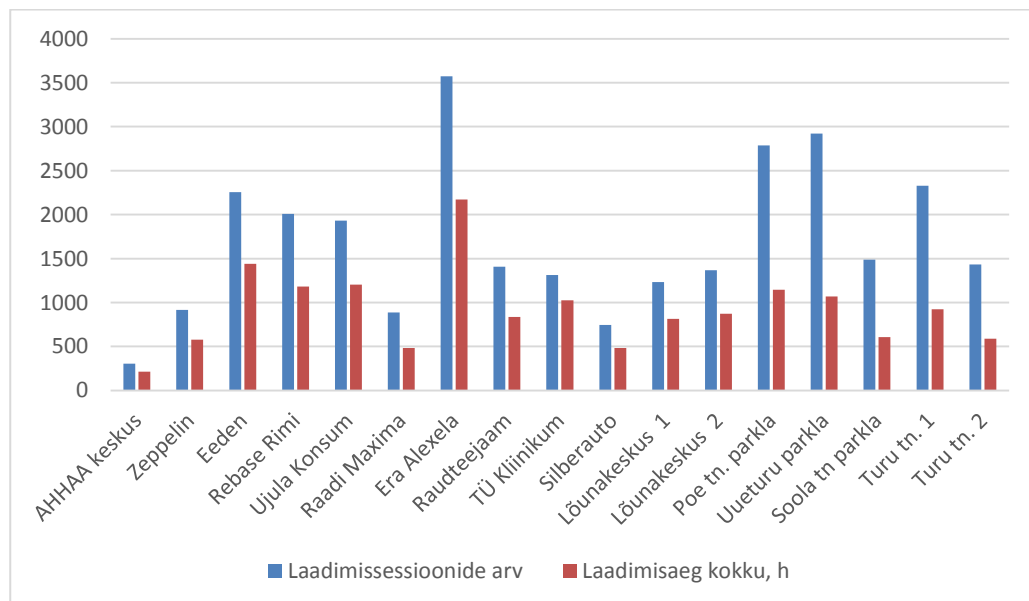
CCS pistik ühendab endas vahelduvvoolu ja alalisvoolu pistikut. Seda tüüpi pistikuid aktsepteerivad sellised autotootjad nagu Audi, BMW, Porsche ja Volkswagen [10]. Tabelis 3 ja joonisel 4 ja 5 on väljatoodud 2019 aasta (jaanuarist-novembrini) Tartu avalike laadijate kasutuse statistika.

**Tabel 3.** 2019 aasta jaanuari-novembrini laadijate kasutuse statistika [5,6].

*Table 3. The charging stations usage statistics from January to November, 2019*

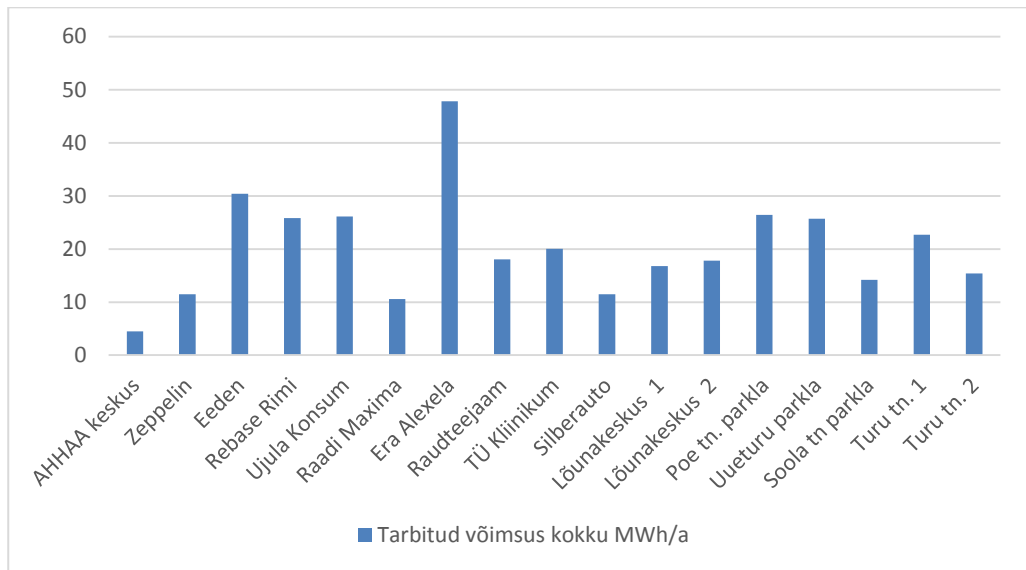
Laadija asukoht	Laadimis-sessioonide arv kokku	Tarbitud võimsus kokku, MWh	Laadimisaeg Kokku, h	Sessiooni keskmine laadimisaeg, min
AHHAA keskus	304	4,56	213	42,0
Zeppelin	916	11,547	578	37,8
Eeden	2256	30,435	1440	38,2
Rebase Rimi	2008	25,815	1183	35,3
Ujula Konsum	1930	26,101	1205	37,4
Raadi Maxima	887	10,668	482	32,6
Era Alexela	3574	47,888	2173	36,4
Raudteejaam	1408	18,022	837	35,6
TÜ Kliinikum	1312	20,022	1026	46,9

Silberauto	745	11,558	483	38,8
Lõunakeskus 1	1233	16,819	814	39,6
Lõunakeskus 2	1367	17,800	873	38,3
Poe tn. parkla	2788	26,495	1145	24,6
Uueturu parkla	2921	25,780	1068	21,9
Bussijaam	1488	14,201	607	24,4
Turu tn. 1	2330	22,764	923	23,7
Turu tn. 2	1433	15,415	589	24,6
<b><math>\Sigma =</math></b>	<b>28900</b>	<b>345,886</b>		



**Joonis 4.** Tartu avalikute laadijate kasutuse statistika aastal 2019 [5,6].

*Pic. 4. Tartu public charging stations usage statistics in 2019*



**Joonis 5.** Tartu avalike laadijate tarbitud võimsus aastal 2019 [5,6].

*Pic. 5. The amount of consumed power by the Tartu public charging stations in 2019*

Antud perioodi jooksul tarbiti elektriautode laadimiseks kokku 345,886 MWh elektrienergiat.

Joonistel 4 ja 5 on näha, et 2019 aastal kõige nõutavamaks laadimisjaamaks oli Alexela tanklasse paigaldatud kiirlaadija. Nii suure populaarsuse põhjuseks võib olla see, et samas tanklas asub ööpäevaringselt avatud kiirtoidu söögikoht.

Teisel kohal on laadimisaja ja tarbitud võimsuse järgi Eedeni kaubanduskeskuse parklas asuv laadimispunkt. See pole ka üllatav, kuna Eedeni laadija asub Tartu linna kõige suurema elenikearvuga linnaosas.

Parema selguse huvides on tabelis 4 väljatoodud uuritud perioodi jooksul, ühe päeva laadijate kasutuse statistikat.

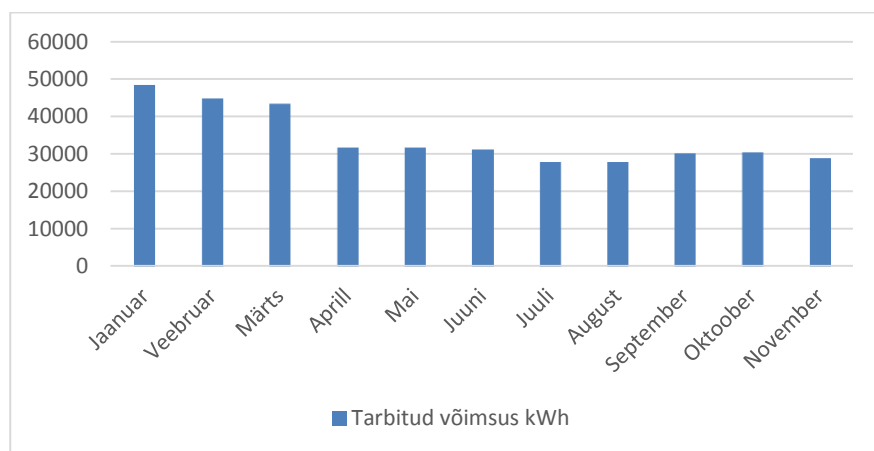
**Tabel 4.** Aasta 2019 ühe päevaga laadijate kasutuse statistika [5,6].

*Table 4. Daily charging sessions statistics in 2019*

Laadija asukoht	Keskmine laadimis-sessioonide arv päevas	Keskmine laadimisaeg päevas h/p	Tarbitud keskmine võimsus päevas kWh/p
AHHAA keskus	1,1	0,6	13,6
Zeppelin	2,7	1,7	34,6
Eeden	6,7	4,3	91,1
Rebase Rimi	6,0	3,5	77,2
Ujula Konsum	5,8	3,6	78,1
Raadi Maxima	2,6	1,4	31,9

Era Alexela	10,7	6,5	143,4
Raudteejaam	4,2	2,5	53,9
TÜ Kliinikum	3,9	3,1	60,0
Silberauto	2,2	1,4	34,6
Lõunakeskus 1	3,7	2,4	50,3
Lõunakeskus 2	4,1	2,6	53,2
Poe tn. parkla	8,3	3,4	79,3
Uueturu parkla	8,7	3,2	77,2
Soola tn parkla	4,4	1,8	42,5
Turu tn. 1	7,0	2,8	68,1
Turu tn. 2	4,3	1,8	46,1

Tabelis 4 on näha, et Alexela tanklas asuvat laadijat kasutati keskmiselt 10,7 korda ööpäevas, peaaegu iga 2 tunni järel.

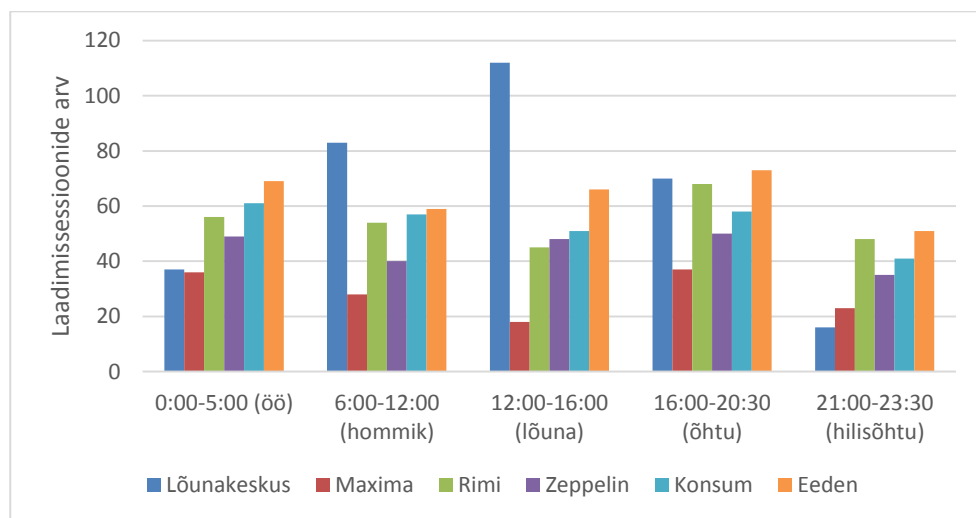


**Joonis 6.** Aasta 2019 igakuise laadimissessioonide statistika [5,6]

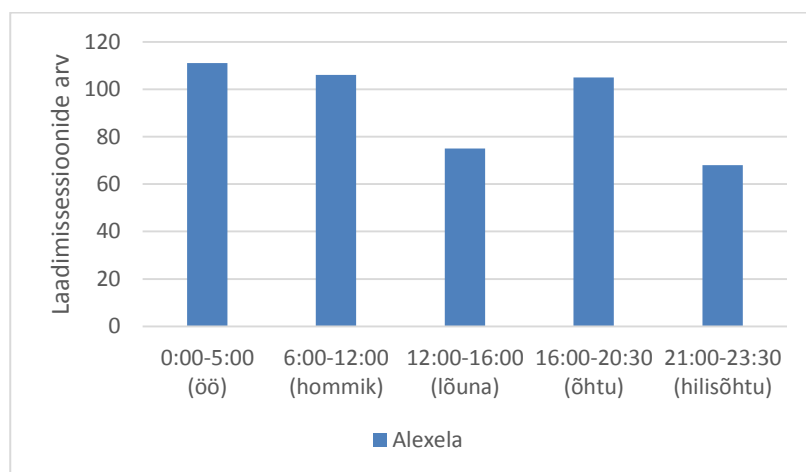
*Pic. 6. Monthly charging sessions statistics in 2019*

Joonisel 6 on näha, et laadimissessioonide arv suureneb külmaperioodil (kõige suurem arv jaanuaris), ning ilma soojenedes väheneb. See on loogiline, kuna elektriautode energiakuulu külmal ajal on suurem võrreldes sooja ajaga ja autot tuleb laadida sagedamini.

Allpool joonistel on toodud välja laadijate kasutuse statistika 2019 aasta jaanuaril päeva osade järgi. Andmed on grupeeritud vastavalt laadijate paigalduskohtadele.



**Joonis 7.** Laadimissessioonid jaanuaris, poodide ja kaubanduskeskuste juures Pic. 7.  
*Charging sessions in shops and shopping centres in January*



**Joonis 8.** Laadimissessioonid jaanuaris Alexela tanklas [5,6]  
*Pic. 8. Charging sessions at the Alexela gas station in January*

Ülalpool toodud joonistel on näha, et laadimissessioonide arv poodides ja kaubanduskeskuses päeva jooksul jääb enam-vähem saamal tasemel ning natuke kasvab õhtuks. Erandiks on Lõunakeskuse kaubanduskeskus, kus kõige suurem laadimissessioonide osa toimub keskpäeval (lõuna ajal). Alexela tankla laadija kõige populaarsem öö ja hommiku aial. Põhjus võiks olla 24h avatud söögikoht.

### TULEMUSED JA ARUTELU

Kuna Tartu linnas kasutuses olevatest elektriautodest umbes neljandik on elektritaksod, siis suure tõenäususega rohkem kiirlaadijaid kasutavad taksojuhid, kui eraisikud. Tavaliselt ühe elektritakso läbisõit on 200-250 km ööpäevas [11.8].

Elektriautoga sõites keskmiselt kulutakse 0,18–0,2 kWh energiat kilomeetri kohta [12.11].

Arvestame palju energiat kulutab elektritakso ööpäevas:

$$E_{EV} = E_{km} \cdot s, \quad (1)$$

kus  $E_{EV}$  on elektritakso ühe vahetuse jooksul kulutatav energia kWh;

$E_{km}$  – elektritakso poolt tarbitav energia km kohta kWh;

$s$  – elektritakso läbisõit ühe vahetuse jooksul km .

On leitud, et ööpäeva jooksul kulutab elektritakso keskmiselt 50kWh elektrienergiat. Talveajal energiakulu võib suureneda 10-15 % võrra [8].

Elektriauto Nissan Leaf 40 kWh kättesaadav akumahutavus on 36 kWh [13].

Kiirlaadijatega saab laadida aku maksimaalse kiirusega ainult 80 %-ni [14].

See tähendab, et elektritaksot Nissan Leaf 40kWh tuleb laadida vähemalt kaks korda vahetuse jooksul.

Elektritakso juhataja sõnade järgi on firmas olemas oma laadijad, aga nende arv ei ole piisav ja taksojuhid kasutavad pidevalt avalike kiirlaadijaid oma autode laadimiseks [11].

Vastavalt Inseneribüroo Stratum OÜ poolt toodud uuringu andmetele Tartus eraauto keskmine läbisõit päevas on 12,8 km [15].

Kasutades valemit 1 on leitud, et keskmiselt ööpäeva jooksul eraisiku elektriauto kuulub 2,56 kWh elektrienergiat. Arvestades, et Nissan Leaf aku mahutavuse minimaalse suurus on 24 kWh võib eeldada, et elektriautona saab sõita vabalt mitu päeva ilma laadimata.

Arvestame kui palju kogu laadimissessioonidest aastal 2019 moodustasid elektritaksode laadimissessioonid. Selleks tuleb leida ühe elektritakso laadimissessioonide arv aastal 2019.

$$n_{L/kokku} = n_{L/p} \cdot n_p, \quad (2)$$

kus  $n_{L/kokku}$  on ühe elektritakso laadimissessioonide arv aastal 2019;

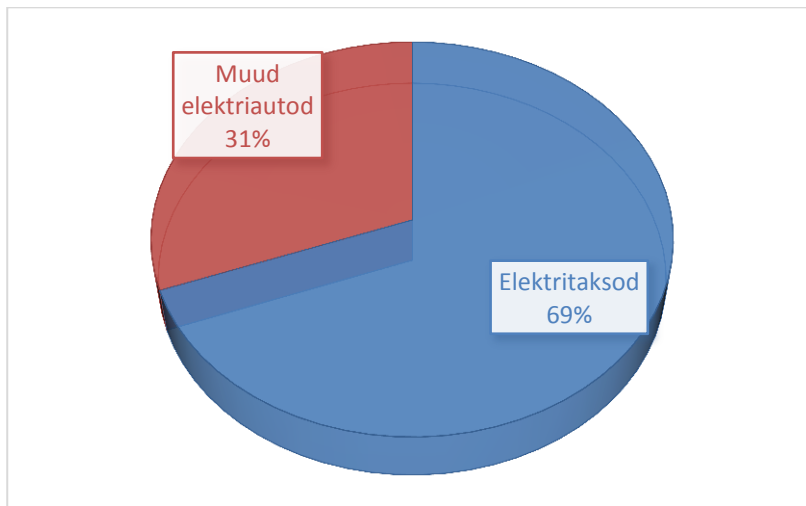
$n_{L/p}$  – ühe elektritakso laadimissessioonide arv ööpäevas;

$n_p$  – päevade arv (334 ).

On leitud, et uuritud perioodi jooksul elektritakso laeti vähemalt 668 korda.

Tartu autopargis on 30 elektritaksot, siis kogu elektritaksode laadimissessioonide arv oli vähemalt 20040.

Joonisel on näidatud elektritaksode ja muu elektriautode laadimissessioonide arv protsentides aastal 2019 perioodil jaanuarist novembrini. Diagramm on koostatud eeldades, et kõik elektritaksode laadimissessioonid olid teostatud avalikes laadimispunktides.



**Joonis 9.** Elektritaksode ja muude elektriautode laadimissessioonid aastal 2019

*Pic. 9. The charging sessions by taxis and other electric vehicles in 2019*

Jooniselt on näha, et peaaegu 70% kogu laadimissessioonidest avalikes laadijates aastal 2019 moodustasid elektritaksode laadimissessioonid.

Vastavalt Euroopa Liidu direktiivile (*ingl. EU AFI Directive*) avalike laadimispunktide ja elektrisõidukite soovitud suhe vähemalt peab olema 1:10 (kümme elektriautot ühe laadija kohta) [16].

Kontrollime laadimispunktide ja elektrisõidukite suhte Tartus:

$$n_{EV/LA} = \frac{n_{EV}}{n_{LA}}, \quad (3)$$

kus  $n_{EV/LA}$  on elektrisõidukite arv ühe laadija kohta;

$n_{EV}$  – elektrisõidukite arv ;

$n_{LA}$  – avalike laadimispunktide arv.

Leitud, et elektrisõidukite arv ühe laadija kohta Tartus on  $\sim 6$ . Niimoodi laadimispunktide ja elektrisõidukite suhte Tartus aastal 2019 oli 1:6, mis on suhteliselt madalam võrreldes Euroopa Liidu komisjoni soovituga.

## JÄRELDUSED

Analüüs näitas, et:

- Tänapäeval avalikute kiirlaadimisjaamade arv Tartus rahuldab tänapäevast vajadust.
- Nõudlus kiirlaadijate järele pole suur. Kõige populaarsem laadija. Alexela tanklas kasutati keskmiselt 10,7 korda ööpäevas.
- Suurem osa kiirlaadijatest on kasutusel ööpäevaringselt.
- Laadimisjaamade peamised kasutajad on elektritaksojuhid.

Võttes arvesse elektriautode arvu suurenemise tendentsi maailmas ja Euroopas, tuleb tähelepanu pöörata laadimistaristu arendamisele suurimas Tartu linnaosas Annelinnas. Annelinna elanikel, kes elavad tüüpilistes kortermajades puudub võimalust omada elektriautosid, kuna majade parkimisplatsidel ei saa autosid laadida. Tulevikus on mõistlik just Annelinnas paigaldada rohkem kiirlaadimispunkte, stimuleerimaks elanike väikseid ja enrgisäästlikke elektriautosid kasutama.

### KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Maanteamet. Sõidukite statistika. [veebileht] <https://www.mnt.ee/et/ametist/statistika/soidukite-statistika> (20.03.2020).
- [2] Tartu Linnavalistuse sotsiaal-ja tervishoiuosakonna sekretääri Eleri Flinki ja A. Bondari kirjavahetus. Tartu sotsiaaltöötajate elektriautod. e-kiri. 04.03.2020.
- [3] Elektriautode kasutajate uuring (2013). [veebileht] <http://elmo.ee/uuring2013/> (03.01.2020).
- [4] Мамедов, О. (2017). Влияние электромобилей на энергетическую систему мегаполиса – *Энергосбережение*. Nr.7. [e-ajakiri] [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6666](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6666) (03.02.2020).
- [5] ELMO kiirlaadijate kasutuse staatistika. [veebileht] <http://elmo.ee> (27.12.2019).
- [6] Tarti Linnavalitsuse projektijuhi Jaanuse Tammi ja A. Bondari kirjavahetus. Laadijate kasutuse staatistika. e-kiri. 03.12.2019.
- [7] Enefit Volt laadimisvõrk (2020). [veebileht] <https://enefitvolt.com/elektriauto-laadimine> (19.03.2020).
- [8] Eleporti laadimisvõrk (2020). [veebileht] <https://app.eleport.ee/> (19.03.2020).
- [9] Maa-ameti kaardiserver [on-line] <https://geoportaal.maaamet.ee/est/Kaardirakendused-p2.html> (25.03.2020).
- [10] Electric vehicle charging. -Definitions and explanation. Netherlands Enterprise Agency, Version: 13 January 2019. pp 15.
- [11] Elektritakso OÜ juhataja Jaani Juurikase ja A. Bondari kirjavahetus. Elektritakso. e-kiri. 29.08.2019.
- [12] Sørensen, Å.L., Jiang, S., Torsæter, B.N., Vøller, S. (2018) Smart EV Charging Systems For Zero Emission Neighbourhoods.- Zen Report. No. 5, 2018. pp. 72.
- [13] Electric Vehicle Database (2020). [veebileht] <https://ev-database.org/car/1106/Nissan-Leaf> (25.03.2020).
- [14] Mies, J.J., Helmus, J.R., van den Hoed, R (22 June 2018). Estimating the Charging Profile of Individual Charge Sessions of Electric Vehicles in The Netherlands.- *World Electric Vehicle Journal* [e-ajakiri] <https://www.mdpi.com/journal/wevj> (19.03.2020).
- [15] Autopargi läbisõit Eestis 2012.a Uuringu aruanne. Inseneribüroo Stratum OÜ. 60 lk.
- [16] Nordic EV Outlook (2018) [veebileht] <https://webstore.iea.org/nordic-ev-outlook-2018> (30.03.2020).



## Ülekäiguradade valguse spektrid

R. Feldman<sup>1</sup>, E. Jõgi<sup>1</sup>, M. Reinvee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

<sup>2</sup>Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

**Abstract.** The article discusses the field of lighting technology. The electromagnetic radiation spectrum consists of various radiations, rays and waves, but the human eye is able to perceive only a very small part of the light spectrum – 380 to 760 nm. Sunlight is a source of natural light and contains all parts of the visible light spectrum. The spectral composition of artificial light differs from that of natural daylight and depends on the light source used. The colour of the observed object depends on the naturalness of the light falling on the object, the reflection of the object and the characteristics of the viewer's eye. The aim of the article is to provide an overview of the street lighting measurements of crosswalks, the shapes of the radiation spectra of different light sources, the colour rendering index and the correlated colour temperature. The research compares the street lighting of four crosswalks in the Karlova district of Tartu. The measurements are taken at night, because then it is possible to get maximum results for the crosswalk lighting and the traffic density is lower during this time. The results are processed and analysed.

**Keywords:** street lighting, crosswalk, light spectrums, correlated colour temperature, colour rendering index.

### SISSEJUHATUS

Valgustustehnika on valgustehnika ala, mis käsitleb valguse kasutamist valgustamiseks. Valguse ehk nähtava kiirguse osa moodustab elektromagnetilisest kiirgusspektrist väikese osa lainepikkuse vahemikus 380...760 nm. Silmaga tajuvate värvide järgi on valguse spekter jagatud kiirguse lainepikkuse järgi seitsmeks erinevaks värviks: violet (380 ... 420 nm), indigo (420 ... 440 nm), sinine (440 ... 490 nm), roheline (490 ... 560 nm), kollane (560 ... 590 nm), oranž (590 ... 630 nm) ja punane (630 ... 760 nm). Eelnevalt nimetatud värvid moodustavad kokku valge värvuse – valge värvus on liitvalgus ja koosneb värvilistest valgustest. [1][2]

Inimese silm on võimeline tajuma valguse spektrist vaid väga väikest osa - 380 kuni 760 nm. Teised elektromagnetilise kiirgusspektri osad, mis on inimese silmale mittenähtavad, on: kosmiline kiirgus, gammakiired, röntgenikiired, UV-kiirgus, infrapunakiirgus, mikrolained ja radar ning raadiolained. [1]

Päikesevalgus on loomuliku valguse allikas ning sisaldab endas kõiki nähtava valguse spektri osasid. Tehisvalguse spektraalne koostis erineb oluliselt loomuliku päevavalguse spektrist ning sõltub kasutatavast valgusallikast. Vaadeldava objekti värv sõltub objektile langeva valguse loomulikkusest, objekti peegeldusest ja vaataja silma omadustest. [1]

Artikli eesmärk on anda ülevaade ülekäiguradade tänavavalgustuse valgustehnilistest mõõtmistest, erinevate valgusallikate kiirgusspektrite kujudest, värviesitusindeksist ja värvsustemperatuurist.

## MATERIAL JA METOODIKA

Võrdlemiseks valiti neli ülekäigurada, mis asuvad Tartu linnas Karlova linnosas. Valik tehti asukoha ja valgusallika erinevuse järgi:

1) ülekäigurada Forseliuse kooli juures (aadress Tähe tn 101), mida valgustab kaks LED-valgustit ja valgus on suunatud ülekäigurajale;

2) ülekäigurada Siili ja Rebase tänava ristmikul (aadress Siili tn 1), kus valgustiks on üks kõrgrõhu-naatriumlamp (ingl *HPS*) ja valgus suunatud ülekäigurajale;

3) ülekäigurada Aida ja Aleksandri tänava ristmikul (aadress Aida tn 7), mida valgustab üks LED-valgusti ja kuna tegemist on suure ristmikuga, millel on 4 ülekäigurada, siis valgus on suunatud uuritava ülekäigurajast natuke eemale, et valgustaks kõiki neli ülekäigurada;

4) ülekäigurada Lootuse ja Kesk tänava ristmikul (aadress Lootuse tn 8), mida valgustab üks ülekäigule suunatud metallhaliid tänavavalgusti.

Ülekäiguradade spektrite analüüsil võrreldakse mõõdetud valgusallikate spektrite kuju, värviesitusindeksit ja värvsustemperatuuri. Mõõtmised teostati loomuliku valguse puudumisel öisel ajal, sest siis oli võimalik saada maksimaalsed tulemused ülekäiguraja valgustuse kohta ja ka liiklustihedus oli sel ajal hõredam.

Valgustehnilised mõõtmised sooritati luksmeetriga MSC15. Tegemist on B-klassi mõõteseadmega (DIN5032-7). Luksmeetri mõõtevahemikud on 1 ... 350 000 luksi, 360 ... 830 nanomeetrit ja 1700 ... 17 000 K [3]. Korrektsete mõõtmistulemuste saamiseks asetati luksmeeter horisontaalasendis ülekäiguraja keskele, suunaga valgusallika(te) poole. Seade oli mõõtmiste hetkel ühendatud USB 2.0 juhtme kaudu sülearvutiga, millega saadud tulemused salvestati luksmeetriga kaasas oleva programmiga *MSC15 Measurement Software*. Hilisemaks mõõtetulemuste töötlemiseks kasutati tarkvara *Microsoft Excel*.

## TULEMUSED JA ARUTELU

Töös uuritakse ülekäiguradade valgustite spektreid. Joonisel 1 on näidatud neli ülekäiguraja mõõtetulemused, millede väärtused on normaliseeritud ja spektri maksimaalne punkt saab olla 1. Jooniselt on näha, et uuritavate valgusallikate spektrid on erinevate kujudega.

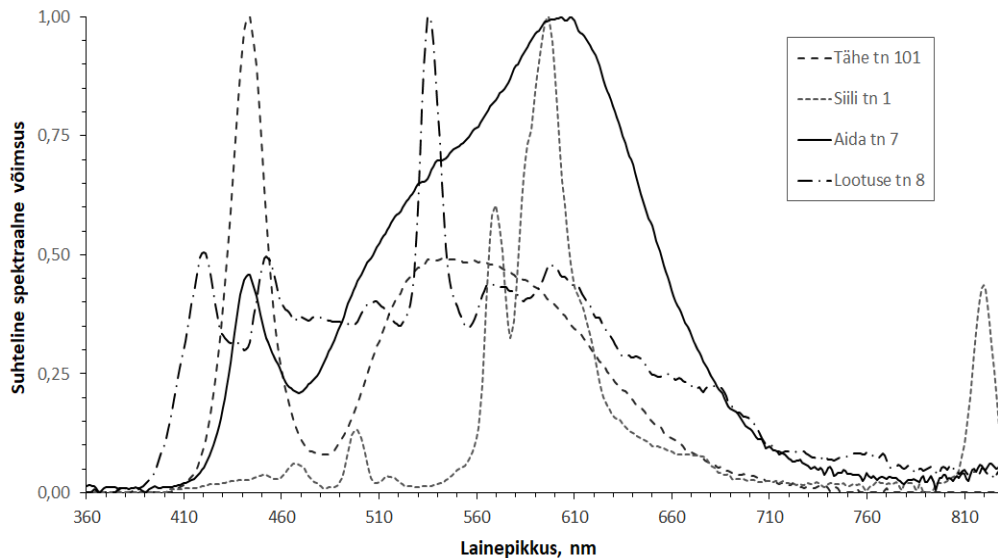
Tähe tn 101 ülekäigurada valgustab kaks LED-lampi. Antud ülekäigurada on väga tähtis, sest see asub Forseliuse kooli juures ja argipäeviti ületab seda ülekäigurada väga palju inimesi, eelkõige koolilapsed. Spektri jaotus joonisel vastab külma LED-valgusti spektrile, kus kõige kõrgem punkt asub sinise valguse lainepikkuse 450 nm juures.

Siili tn 1 ülekäigurada valgustab üks kõrgrõhu-naatriumlamp. Jooniselt on näha, et ka Siili tn 1 valgusspekter vastab kõrgrõhu-naatriumlambi spektrile, kus spektri kõrgemad osad asuvad kollase valguse lainepikkusel ~ 580 nm.

Aida tn 7 ülekäigurada asub suurel ristmikul ja seal asuvat ülekäigurada valgustab LED-lamp. Antud ülekäigu valgusspekter on sooja LED-valgusti spektraaljaotusega, kus kõrgeim punkt asub oranži valguse juures (ca. 610 nm).

Lootuse tn 8 ülekäigurada valgustab metallhaliidlamp. Antud ülekäiguraja valgusspektri kuju vastab osaliselt metallhaliidvalgusti spektrile (kõrgemad punktid

lainepikkustel 420, 450 ja 550 nm), sest ülekäiguraja lähedal asuvad ka LED- ja kõrgrõhu-naatriumvalgusti.



**Joonis 1.** Normaliseeritud tänavavalgustite spektrid.

**Figure 1.** Normalized spectrums of streetlight.

Mõõteseadmega mõõdetakse värviesitusindeksit Ra ja lisaks sellele ka 14 värvi esinemist tänavavalgustite valguses. Tulemuste R1 ... R8 järgi arvutatakse Ra väärtus ehk kaheksa esimest värvi on valgusallika etalonvärvid. Lambi valguses olevate värvide esinemine tuleneb valgusallika tüübist ja ümbritsevast keskkonnast.

Kõige kõrgem värviesitusindeks on Lootuse tn 8 ülekäigurajal. Selline tulemus tuleneb sellest, et mõõtepunkt asub eluhoonele väga lähedal ja lisaks metallhaliidvalgustile on läheduses ka LED- ja kõrgrõhu-naatriumlambid, mis mõjutavad antud mõõtepunkti tulemusi.







Kõige madalam värviesitusindeks saadi Siili tänava mõõtmisel. Ülekäigukoht asub hoonetest eemal ja valgusallikaks on kõrgrõhu-naatriumlamp. Hõredast hoonestusest ja asukohast tingitult esineb pindadelt peegeldumist vähem ja teised lähedal asuvad valgusallikad on ülekäigurajast eemale suunatud.

Tähe tn 101 ülekäiguraja lähedal asuvad suured puud ja teised hooned on sõiduteest eemal. Värvitoonide esinemine on ühtlane, välja arvatud R9, R10 ja R12 (tugev punane, tugev kollane ja tugev sinine), millede väärtused on -32,16, 33,87 ja 43,79.








Aida tänava ristmik asub hoonete vahel, millede seinad on puidust ja tumedat värvi (tumepruun ja -punane). Värvide esinemine värviesitusindeksis on väga hea, aga teistest märgatavalt vähem on tugevat punast ehk R9 (väärtuse suurus 7,21). Ristmikul on LED-valgusti ja kõrval olevate hoonete välisseinte värvid näivad tõesed.

Mõõtetulemused on välja toodud tabelis 1. Negatiivsed väärtused näitavad värvi mittepeegeldumist ja kõikide mõõtepunktide juures on asfalt teekate.

**Tabel 1.** Värviesitusindeksi mõõdetud väärtused.**Table 1.** Measured values of the colour rendering index.

Ülekäigurada	Ra	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
								
Tähe tn 101	69,71	69,23	72,06	73,95	72,06	70,86	64,05	76,31
Siili tn 1	16,03	7,5	66,37	44,27	-15,74	5,86	59,36	24,92
Aida tn 7	83,83	81,25	88,56	97,02	84,48	81,5	86,71	87,76
Lootuse tn 8	86,52	86,29	88,41	86,83	88,47	85,33	85,26	93,06

**Tabel 1 jätk.** Värviesitusindeksi mõõdetud väärtused.**Table 1 cont.** Measured values of the colour rendering index.

Ülekäigurada	Ra	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
								
Tähe tn 101	69,71	59,12	-32,16	33,87	72,52	43,79	68,27	85,17
Siili tn 1	16,03	-64,32	-228,18	49,72	-38,46	37,84	17,04	64,07
Aida tn 7	83,83	63,33	7,21	74,2	83,98	71,65	82,65	98,11
Lootuse tn 8	86,52	78,5	28,49	68,94	85,33	74,79	86,63	92,22

Luksmeetriga mõõdetud värvsustemperatuuride tulemused on järgmised: Tähe tn 101 kahe LED-lambi värvsustemperatuur on 6008 K, Siili tn 1 ülekäiguraja värvsustemperatuur on 1883,4 K, Aida tn 7 ülekäigurajal 3381,2 K ja Lootuse tn 8 puhul 5688,8 K. Tähe tn 1 ja Lootuse tn 8 ülekäiguradade lampide valguse värvitoon on külm, Siili tn 1 oma soe ja Aida tn 7 ülekäiguraja valgusti keskmine. Jooniselt 1 on näha, et Tähe ja Lootuse ülekäiguradade valgusspektri kõrgeimad tipud asuvad külmade värvide (sinine) spektri lainepikkusel, Siili tänava puhul soojade värvide (kollane ja oranž) lainepikkusel ja Aida ülekäiguraja kõrgeim punkt keskmiste värvide (roheline) spektri lainepikkusel.

## JÄRELDUSED

Tulemustest saab järeldada seda, et ülekäiguraja valgusallika tüüp, selle asukoht ülekäiguraja suhtes ja ümbritsev keskkond omavad väga tähtsat rolli valgustehnilisel alal. Tulemustest saab kinnitada, et LED- ja metallhaliid tänavavalgustitel on kõrgem värviesitusindeks ning ülekäiguraja lähedal asuvad objektid näivad tõesemate toonidega, kui kõrgrõhu-naatriumvalgustite juures olevad objektid. Osalise loomuliku valguse olemasolul on võimalik teha täiendavaid mõõtmisi.

**KASUTATUD KIRJANDUS**

- [1] T. Tamm, *Valgustustehnika I*. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2009. 112 lk.
- [2] L. Sõõrd, "Värviline valgus ja esemete värvused," *Tartu Ülikool*, 2012 (Online), [Online]. Available:  
[https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/24946/vrviline\\_valgus\\_ja\\_esemete\\_vrvused.html](https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/24946/vrviline_valgus_ja_esemete_vrvused.html). [Accessed 30 03 2020]
- [3] Gigahertz-Optik, "MSC15," *Products* (Online), [Online]. Available:  
<https://www.gigahertz-optik.de/en-us/product/msc15>. [Accessed 30 03 2020]

## Samm-mootori juhtimine mikrosammtalitusel

T. Heering

<sup>1</sup>Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

**Abstract.** Stepper motors are brushless DC motors that shaft's angular position can be controlled by electrical pulses. The aim of this article is to give an overview of different types of waveforms that can be used. Also the main fundamentals of stepper motors will be explained.

**Keywords:** Stepper motor, Wave drive, Full-step drive, Half-stepping, Micro-stepping.

### SISSEJUHATUS

Samm-mootor ehk harjavaba sünkroonmootor on elektrimootor, mille pöördnurka on võimalik juhtida kasutades pinge impulsse. Kuna igale impulsile vastab mingi kindel pöördnurk, siis juhtimiseks sobivad hästi mikrokontrollerid. Samm-mootorid on laialdaselt kasutuses seadmetes kus on vaja tagada täpsus, nagu näiteks printerid, robotid ja arvjuhitavad tööpingid.

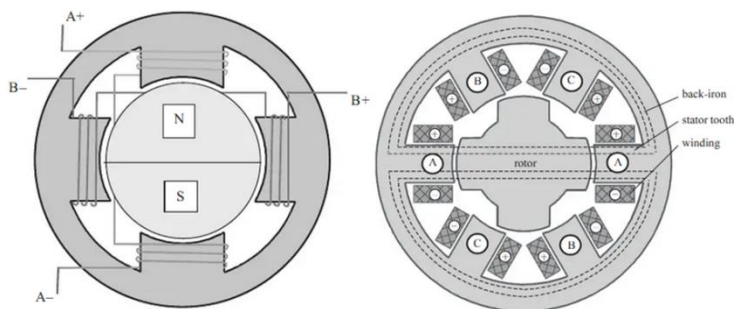
Nimetatud mootoreid kasutatakse avatud juhtimisahelaga süsteemides kus kontrolleril puudub tagasiside mootori võlli tegeliku asendi kohta. Mootori juhtimisel on võimalik kasutada erinevaid talitusviise. Igal talitusviisil on oma eelised ja puudused. [2]

Käesoleva artikli raames uuritakse samm-mootorite tööpõhimõtteid, talitusviise ja mootori pöördemomendi muutumist vastavalt talitusviisile ja pöörlemiskiirusele. Teadusartiklis käsitletav teema on seotud autori lõputööga.

### MATERIAL JA METOODIKA

Ehitusviisidelt võib samm-mootorid liigitada kolmeks: püsimagnet-samm-mootor, reluktants-samm-mootor ja nende kahe kombineerimisel saadav hübriid-samm-mootor.

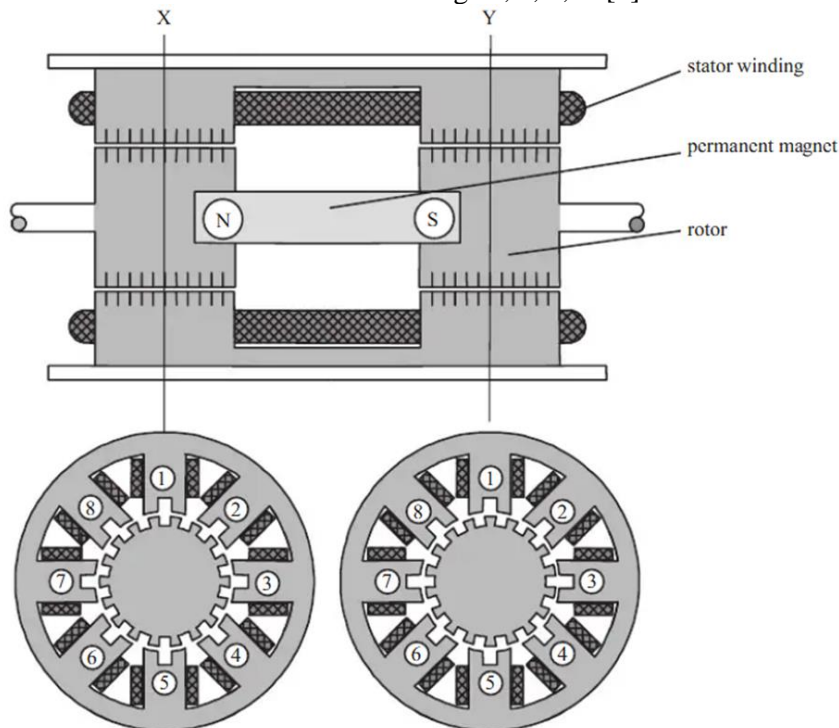
Püsimagnet-samm-mootori rootor koosneb vahelduvate poolsustega püsimagnetitest, mille paneb pöörlema staatoris tekkiv magnetväli. Reluktants-samm-mootoril on väljaulatuvate hammastega terasest rootor. Staatorimähise pingestamisel liiguvad rootori väljaulatuvad hambad kohakuti tekitatud magnetvälja tõttu. Joonisel 1 on välja toodud püsimagnet- (vasakul) ja reluktants- (paremal) samm-mootorite ristlõiked. [1]



Joonis 1. Püsomagnet- ja reluktants-samm-mootorite ristlõiked. Allikas: [1]

Hübriid-samm-mootori ehitusel on kasutatud mõlemal joonisel 1 näidatud mootorite tööpõhimõtteid. Selline lahendus võimaldab saavutada väiksemat sammu pöördenurka ja suuremat pöördemomenti.

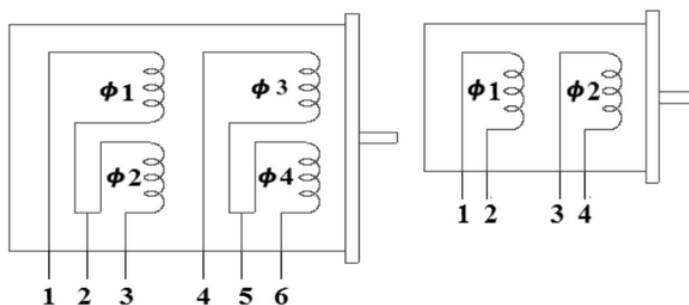
Joonisel 2 on näha tüüpse hübriid-samm-mootori kül- ja otsvaate ristlõiked. Mootori staator koosneb mähistest A ja B (vt. joon. 1), mõlemad mähised on jaotatud neljaks erinevaks mähiseosaks. Ühe mähise pingestamisel tekitatakse neli erinevate poolustega magnetvälja. Samm-mootori rootor koosneb püsomagnetist mille erinevate pooluste ümber on kaks väljaulatuvatest hammastest koosnevat metallsüdamikku, mis on omavahel ühe hamba võrra nihkes. Mähise A pingestamisel tekitavad mähiseosad 1, 3, 5 ja 7 rootori poole elektromagnetväljad. Mähiseosad 1 ja 5 on samapooluselised, kuid vastandpooluselised mähiseosadega 3 ja 7. Mähis B töötab samal põhimõttel, mähiseosad on nummerdatud numbrita 2, 4, 6, 8. [1]



Joonis 2. Hübriid samm-mootori kül- ja otsvaate ristlõiked. Allikas: [1]

Mähiselt A pinge eemaldamisel ja mähise B pingestamisel liigub rootor edasi hambumisse mähise B poolt tekitatud elektromagnetväljadega. Mähiselt B pinge eemaldamisel ja mähise A pingestamisel liiguks rootor tagasi eelnevasse asendisse. Selleks et rootor liiguks edasi järgmisesse asendisse tuleb mähis A pingestada vastupidiselt. Rootori ühesuunaliseks pöörlemiseks tuleb kasutada järgnevat mähiste pingestamise järjekorda: A+, B+, A-, B-, A+, B+, A-, B-, A+, B+, A-, B-, ....[3]

Samm-mootorid jagunevad unipolaarseteks ja bipolaarseteks. Unipolaarsete mootorite mähiste pingestamisel on mähise keskpunkt ühendatud toiteallika positiivse poolusega ja negatiivset poolust ühendatakse mähiste otstega vaheldumisi. Bipolaarse samm-mootori mähise voolusuuna muutmiseks kasutatakse neljast transistorist koosnevat H-silda. Joonisel 3 on välja toodud unipolaarse ja bipolaarse samm-mootori mähiste põhimõtteline skeem. [4]



Joonis 3. Unipolaarse ja bipolaarse staatorimähiste põhimõtteskeem. Allikas: [4]

Samm-mootori sooritusvõime, pöördemoment ja ühtlane töö sõltub talitusviisist. Mootorit võib juhtida laine-, täissamm-, poolsamm- või mikrosammtalitlusel.

Kõige lihtsam talitusviis on lainetalitus kus mootori mähiseid pingestatakse vaheldumisi. Selle talitusviisi eeliseks on madal energiatarve, kuid kannatab mootori võimsus.

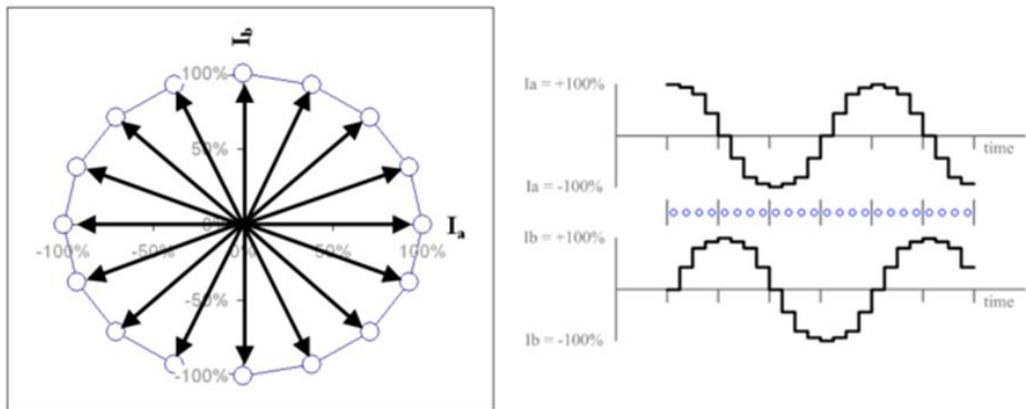
Täissammtalitlusel pingestatakse mootori mõlemat mähist korraga mis tagab mootori maksimaalse pöördemomendi. Miinuseks on mootori ebahütlane töö madalatel pööretel.

Eelnevate talitusviiside kombineerimisel on võimalik mootorit juhtida poolsammtalitlusel. Staatorimähiseid pingestatakse vaheldumisi ühe- ja kahekaupa. Selline talitusviis ühtlustab mootori tööd ja vähendab mehaanilist vibratsiooni.

Samm-mootori juhtimisel mikrosammtalitlusel jaotatakse üks samm eraldi väiksemateks sammudeks, mida nimetatakse mikrosammudeks. Mikrosammude kasutamisel imiteeritakse mähiste pingestamist siinus-koosiinussignaali. Mida rohkem mikrosamme ühe täissammu kohta kasutada seda ideaalsem on siinus-koosiinussignaal. Selline talitusviis parandab oluliselt mootori resolutsiooni ja vähendab mehaanilist müra. [5]

Joonisel 4 on välja toodud kahefaasilise samm-mootori mähiste pingestamise järjekord 1/4 täissamm mikrosammtalitlusel ja faasidiagramm. Faasidiagramm näitab mähiste voolutugevust iga mikrosammu hetkel.





Joonis 4. Mikrosammatalitluse faasidiagramm ja mähiste pingestamise järjekord. Allikas: [5]

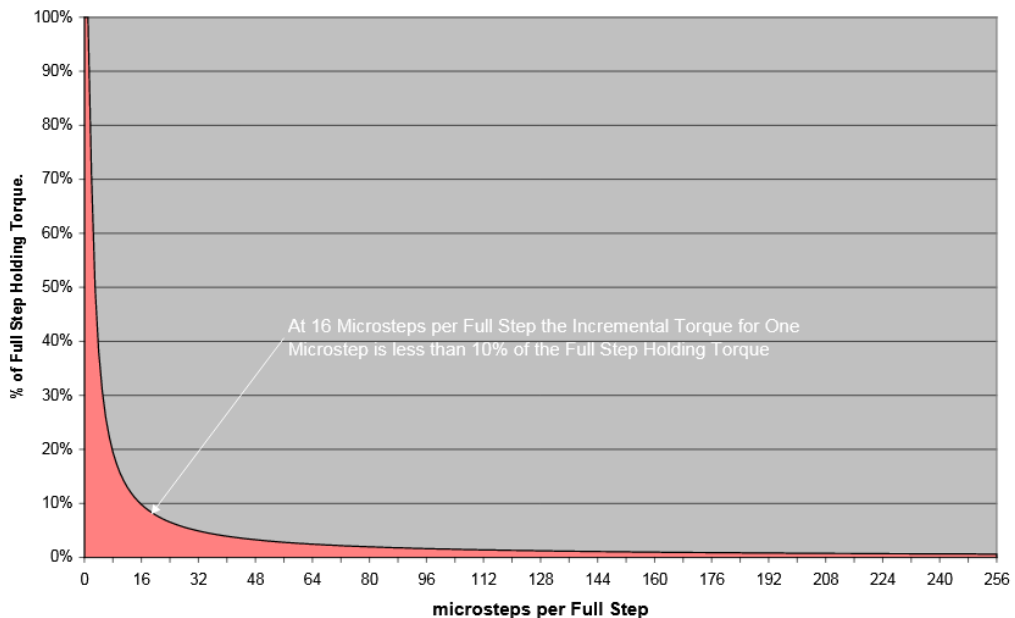
Impulsside lülituskiiruse suurenemisel suureneb ka mootori kiirus. Mida kiiremad on impulsside lülitused, seda vähem jõuavad mähised saavutada enda maksimaalse voolutugevuse. See põhjustab mootori pöördemomendi vähenemise. [6]

Mootori pöördemomendi  $n$  mikrosammu kohta on võimalik leida valemi 1 abil. [5]

$$T_N = T_{HFS} \cdot \sin\left(\frac{(90 \cdot N)}{\mu_{PFS}}\right) \quad (1)$$

kus  $T_N$  on pöördemoment  $N$  mikrosammu kohta;  
 $T_{HFS}$  – hoidemoment;  
 $N$  – mikrosammude arv;  
 $\mu_{PFS}$  – mikrosammude arv ühe sammu kohta.

Mikrosammude suurendamisel ühe sammu kohta väheneb mootori pöördemoment eksponentsiaalselt. Joonisel 5 on välja toodud pöördemomentide protsentuaalne vähenemine ühe mikrosammu kohta. [7]



Joonis 5. Hoidemoment mikrosammталitlusel. Allikas: [7]

Jooniselt 5 on näha, et mikrosammude suurendamisel ühe sammu kohta väheneb hoidemoment drastiliselt. 1/256 täissammu korral väheneb mootori hoidemoment 99,4%. Peamiselt kasutatakse 1/8 täissammust mikrosammталitlust kus mootori hoidemoment langeb 80%, kuid mootori töö on sujuv, vaikne ja puuduvad mehaanilised vibratsioonid. [7]

## TULEMUSED JA ARUTELU

Samm-mootorid on harjavabad sünkroonmootorid, mille pöördenurka on võimalik kontrollida elektriliste impulssidega. Käesolevas artiklis anti ülevaade samm-mootorite tööpõhimõtetest ja talitusviisidest. Laine- täissamm- ja poolsammталitlusel võib mootori töö olla ebaühtlane. Mootori resolutsiooni ja mehaanilise müra vähendamiseks on võimalik kasutada mikrosammталitlust, kus üks samm jaotatakse eraldi väiksemateks sammudeks. Mikrosammталitlusel peab arvestama mootori hoide- ja pöördemomendi vähenemisega.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Acarnley. P. "Stepping Motors: A Guide to Theory and Practice." (2.tr.). London: *The Institution of Electrical Engineers*. 159 lk, 2002
- [2] Reston. C., Jones. D. W. "Stepping Motors Fundamentals." – *Microchip*, lk 1-6. 2004
- [3] Elektromehaanilised Täiturid: Samm-mootoriga elektriajam. [on-line] Available: [https://www.tthk.ee/MEH/Taiturid\\_8.html](https://www.tthk.ee/MEH/Taiturid_8.html)  
Ibraheem Alnaib. A. M. T. Stepper Motor. [on-line]. Available:

- [4] [https://www.researchgate.net/publication/332835189\\_Stepper\\_Motor](https://www.researchgate.net/publication/332835189_Stepper_Motor). [2019]  
Microstepping Tutorial. [on-line] [https://www.zaber.com/technical-articles/microstepping-](https://www.zaber.com/technical-articles/microstepping-tutorial)
- [5] tutorial. [2020].  
Tallinna Tehnikaülikool. Loengumaterjalid – Täiturmehhanismid. [on-line] Available:
- [6] [http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/AAR0040/elektriamid\\_kursusele.pdf](http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/AAR0040/elektriamid_kursusele.pdf)  
Stepper Motor Technical Note: Microstepping Myths and Realities. [on-line]
- [7] [https://www.micromo.com/media/wysiwyg/Technical-library/Stepper/6\\_Microstepping%20-](https://www.micromo.com/media/wysiwyg/Technical-library/Stepper/6_Microstepping%20-WP.pdf)  
WP.pdf

## Varutoite generaatorite testkoormuste ühenduspunktide ehitamine ja koormustestid

O. Kivisikk

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

**Abstract.** The purpose of this presentation is to provide an overview of the use of standby power generators to ensure security of supply in electrical installations in buildings. In connection with this, the principles of generator testing, principles of designing test load connection points and carrying out load tests are described.

**Keywords:** Generator, electrical work, emergency supply, load test, test, load test, low voltage, high voltage.

### SISSEJUHATUS

Varutoite generaator on üldjuhul 3-faasiline diisलगeneraator nimivooluga 400 V, mis koosneb diiselmootorist ja elektrigeneraatorist nimipöörlemissagedusega 1500 p/min.

Elektripaigaldise keskpingeliitumiste korral on generaatorseade väljundpinge tavaliselt 400 V, seade on ühendatud Step-Up trafoga 0,4/6,3 kV (0,4/10 kV) ja on paralleeltöö võimekusega võrgu sisestusega keskpingel.

### MATERIAL JA METOODIKA

Hoone varutoite generaator valitakse põhimõttel, et „toidetava“ elektripaigaldise või selle osa/süsteemide koormus ca 70% seadme nimivõimsusest ja kütusekogus seadme töötamisel 75% koormusel [1].

Põhilised generaatorite kasutusala [1]:

1. Avariitoite allikana elektrikatkestuse korral või võrgutoite kadumisel:
  - tulekaitsesüsteemide toiteks (sprinkleri-, suitsuärastuse-, turvalgustuse süsteemid, liftid jms)
  - hoonete evakuatsiooni hädavalgustussüsteemid
  - telekom lahendused (serverid, UPS'id, jahutussüsteemid),
  - protsessid mille peatamine või edasilükkamine on ohtlik inimestele (haiglad)
2. Kogu elektripaigaldiste pingestamiseks elektrikatkestuse korral
3. Pidevas elektritootmises (laevandus, väikesaared, vabaõhuüritusd jms)
4. Tipu lõikamisel ehk olukorras kus elektrivõrgu liitumispunkt ei suuda tagada kogu tarbimiseks vajalikku võimsust ja sellise tarbimise tipphetke katab generaator
5. Elektri tootmisel võrku müügiks (kasutatakse maades kus diiselnõut on väga odav)

## ***Koormustestide vajadus***

Vastavalt tootjapoolsele ettekirjutusele on vaja diisलगeneraatorit käivitada koos koormusega üks kord kuus ja kestusega minimaalselt üks tund.

Nõude peamised põhjused on alljärgnevad:

- seisev jahutusvedelik tekitab mootori madalamatesse punktidesse sadet
- seisva mootori puhul ei liigu õli ja õlituskanalites hakkavad tekkima keemiliste reaktsioonide tagajärjel vaigud
- kuna õli vajub mootoris karterisse põhjustab selline olukord mootori korrodeerumist
- seisvat kütusepumpa kahjustavad kütuses tekkivad parafiini-ühendid

Generaatori käivitamist ilma koormuseta võib teha ainult lühiajaliselt, max 5 minutit.

Peamisteks põhjusteks on generaatorite maaletoojate ja hooldajate sõnul:

- diisलगeneraatori mootor on ette nähtud tööks püsivatel pööretel 1500 p/min
- ilma koormuseta tööil tekib koheselt õlikulu
- õlirõngad kolvil ei suru piisavalt silindri pinnale, mistõttu pääseb õli silindrisse - põlemisproduktid tahmavad ära nii klapid kui ka turbosüsteemi ja heitgaasi torustiku
- heitgaas pääseb karterisse ja hakkab muutma õli oma aluselise olekust happelisemaks

Kõige efektiivsem on varutoitegeneraatori testimine nimikoormusega, kuid reaalses olukorras, kus suurem osa generaatoreid toidab ainult hoone ATS-, UPS-, evakuatsioonivalgustuse- ja nõrkvoolusüsteeme ei taga need süsteemid testimisel generaatoril vajalikku võimsust [1].

Juhul, kui testimisel ei ole kasutada reaalselt vajalikku koormust või seda on alla 40% seadme nimivõimsusest (näiteks ainult ATS-, evakuatsioonivalgustuse-, UPS- ja/või nõrkvoolusüsteeme süsteeme käitavad generaatorid), siis on vajalik edukaks koormustesti sooritamiseks vaja leida lisakoormust.

Testimisel kasutatavateks lisakoormuseks kasutatakse üldjuhul:

- teisaldatavat ja reguleeritavat võimsusega koormuspinki, mis koosneb soojapuhurite tennidest ja ventilaatorist
- generaatori jahutuse väljuvasse õhukanalisse paigutatakse soojapuhurite tennid, (ventilaator on generaatori jahutuse näol olemas)

Olemasolevates ja paljudel juhtudel ka uutes elektripaigaldistes on üldlevinud testide teostamine mobiilse koormuspingiga, mille võimsust saab reguleerida vastavalt testitava seadme nimikoormusele ja mille koguvõimsus on 200 kW. [5]

## ***Testkoormuse ühenduspunkt ja selle ehitamine***

Koormustesti teostamiseks on vajalik koormuspink ühendada generaatoriga. Nimetatud ühenduse kiiremaks ja mugavamaks teostamiseks ehitatakse tavaliselt hoone välisseinale, ligipääsetavasse kohta testkoormuse ühenduspunkt.

Kuna testimisel kasutatavad võimsused ja seega ka voolud on suured siis jagunevad ehitatavad ühenduspunktid oma ühenduste poolest üldjuhul kahte suurde rühma:

- ühenduspistik - testimisel vooluga kuni 125 A (kaasa arvatud)
- voolulattid - testimisel vooluga üle 125 A

Olenevalt generaatori asukohast hoones ja muudest lisanduvatest võimalustest/nõuetest jagunevad ehitatavad ühenduspunktid oma paigaldusviisilt:

- hoone seinale metallkestaga kilpi
- pinnasele jalandiga kilpi

Testkoormuse ühenduskilp, üldjuhul nimetusega TK kilp, sisaldav peale voolulattide või ühenduspistiku veel kaitseautomaati, kilbisoojendust ja mõningatel juhtudel ka indikatsiooni süsteeme.

TK kilp ühendatakse vastavalt sellele, kas generaator toidab kogu hoonet või ainult teatud hoone seadmeid ja süsteeme ning generaatori, peakilbi ja garanteeritud toite kilbi asukohale hoones kas:

- lisa-klemmindga (neliklemmid) otse generaatori peakaitse automaadiga
- hoone RLA-süsteemiga

Ühenduspunkt ehitatakse ka juhul, kui generaator toidab võrgutoite kadumisel kogu hoonet, põhjusel, et koormus testidega ei oleks häiritud koone kasutaja töö, kuna testimisel hoone koormuse kasutamisel on:

- vajalik testimisel nimivõimsuse saavutamiseks kasutada kõikide hoone elektripaigaldise süsteemide ja seadmete tööolukorda
- tekkiv elektrikatkestus (esimene võrku sünkroniseeritud generaatori korral) või katkestused (kui generaator ei ole võrku sünkroniseeritud tekib pealt testi võrgu tagasilülitamisel teine katksetus) häirib või tekitab tõrkeid hoone kasutaja töös
- nimetatud katsetuste kooskõlastamine võib teatud juhtudel (haiglad, pidevtootmine jms) olla küllaltki aeganõudev protsess

Näide testkoormuse ühenduspunkti ehitamise nõuetest:

#### **A. Voolulattidega ühendus:**

1. Objektile on paigaldatud diisलगeneraator (mark) võimsusega (... kVA / ... kW);
2. Olemasoleva RLA keskuse jõuosad on ehitatud mootorajamiga lülitite baasil;
3. Testkoormusseadme ühendamiseks generaatorseadmega paigaldada olemasoleva (asukoha kirjeldus) TK-kilp, mille asukoht täpsustatakse enne paigaldust Tellijaga/generaatori hooldajaga (firma nimi);
4. TK-kilpi toidetakse generaatorseadme pea-automaadi klemmidelt, millede ühenduste tegemiseks paigaldada nn neliklemmid;
5. TK-kilpi paigaldada šunt-/hetkvabastiga kaitselüliti, mille kaudu toidetakse testkoormusseadme ühendusklemme;
6. Kaitselüliti šunt-/hetkvabasti ühendatakse toite sisendis pingekontrollireleega, mis kontrollib toitevõrgu olemasolu;
7. Juhul kui testimise ajal kaob võrgupinge siis lülitatakse testkoormusseadme toide koheselt välja ja objekti elektritarbijad viiakse koheselt üle generaatorseadme toitele;
8. Testkoormusseadme ühendusklemmid kilbis teostada voolulattidega, millede külge saab poltliidetega, -ühendustega kinnitada testkoormuse ühenduskaabli;

9. Kasutatavate poltliidete avade ehk poltide läbimõõt kooskõlastada generaatori hooldajaga;
10. TK-kilpi paigaldada kilbisoojendus;
11. TK-kilp peab olema:
  - metallist kestaga (IP taseme nõue täpsustatakse objektipõhiselt)
  - lukustatav spetsiaalse võtmega
  - maapinnal paiknemise korral alusraamil ja pinnasest metallist põhjaga eraldatud.
12. Teostada vajalikud (toimivuse/töötamise) katsetused, kontrollmõõdistused ja audit.

#### **B. Pistikühendusega:**

1. Testkoormusseadme ühendamiseks generaatorseadmega paigaldada ruumi sisseinale, joonisel näidatud asukohta TK-kilp, millesse paigaldada šunt-vabastiga kaitselüliti, mille kaudu toidetakse hoone välisseinale paigaldatavat testkoormusseadme ühendamiseks TK-kilbis asuvat ühenduspistikut;
2. TK1-kilpi toidetakse generaatorseadme pea-automaadi klemmidelt;
3. Kui testimise ajal kaob võrgupinge siis lülitatab šunt-vabastiga kaitselüliti testkoormusseadme koheselt välja ja hoone garanteeritud toitel olevad elektritarbijad viiakse üle generaatorseadme toitele;
4. Testkoormusseadme ühendamiseks generaatorseadmega paigaldada hoone välisseinale testkoormusseadme ühenduskilp TK, mille täpne asukoht on näidatud joonisel;
5. TK-kilpi paigaldada testkoormusseadme ühendamiseks (63, 125) A pistik;
6. TK-kilbi alumises servas peab olema nn kaar (isoleeritud servaga) väljuva kaabli jaoks, et testimise ajal on võimalik kilbi uks sulgeda;
7. TK-kilp peab olema:
  - metallist kestaga (IP taseme nõue täpsustatakse objektipõhiselt)
  - lukustatav spetsiaalse võtmega;

Teostada generaatorile vajalikud (toimivuse/töötamise) katsetused, kontrollmõõdistused ja audit. [5]

### ***Nõuded generaatori paralleeltööle***

Käesoleval ajal leiab kasutust varutoite generaatori ajutine paralleeltöö võrguga, kus võrgupinge taastumisel sünkroniseeritakse omavahel generaatori ja võrgu pinged. Seejärel on generaator ja võrk 10 sekundi jooksul paralleeltöös võrguga ning seejärel kantakse koormus generaatorilt 10 sekundi jooksul üle sujuvalt võrku. Sellisel lahendusel ei teki teist katkestust ja sellega seonduvat voolutõuget võrgule. [1] Sellist lahendust kasutatakse tavaliselt generaatoritel 200 kW või suuremad, kuid olenevalt hoone kasutamise otstarbega seonduvatest prioriteetidest ka väiksematel võimsustel.

Ajutise paralleeltöö korral võrguga kehtivad generaatorile alljärgnevad nõuded:

1. Diisलगeneraatoril peavad olema järgmised kaitsed paralleeltöö ajal võrgukatkestuse puhuks katkestuse detekteerimise ja väljalülitamisega 200 msek. jooksul:
  - ANSI 21 - Minimum of impedance
  - ANSI 78 – ROCOF (Rate of change of frequency) ja Vector Shift

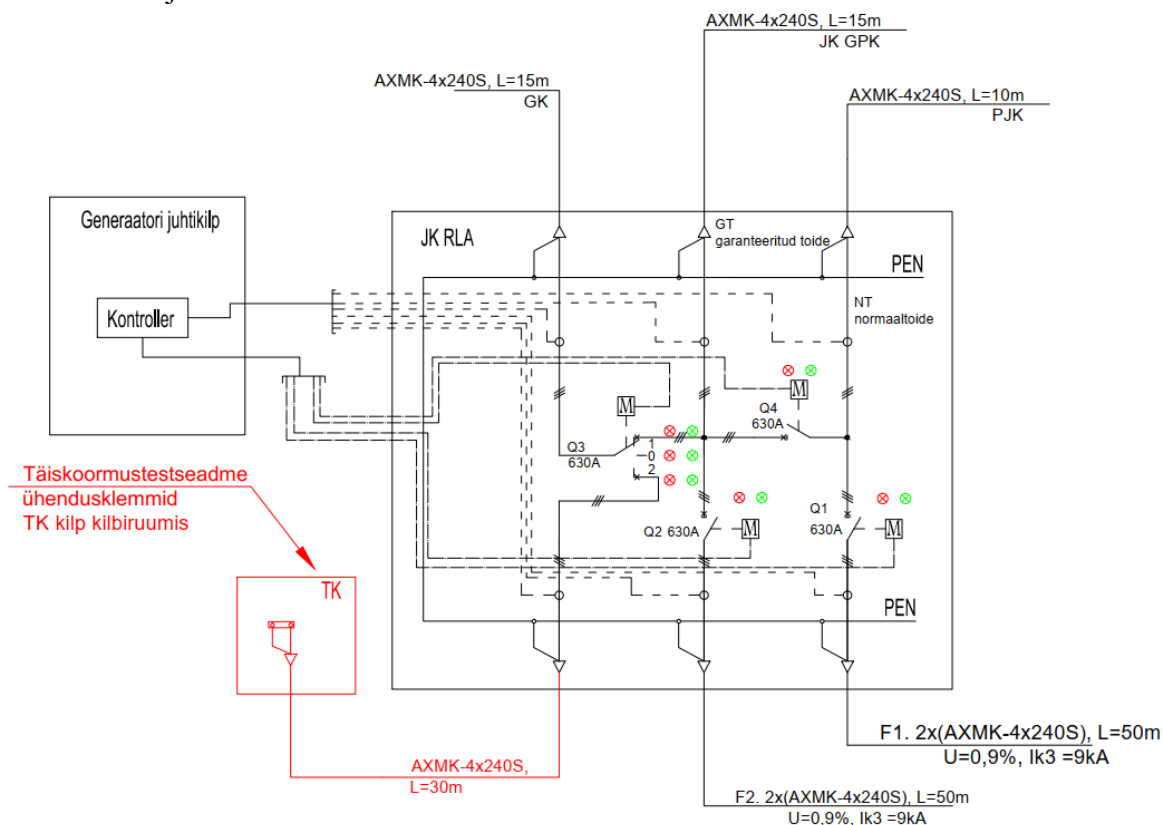
2. Ajutise paralleeltöö seade ei tohi paralleeltöö ajal anda toodetavat võimsust võrku;

Diisलगeneraator mille võimsus on suurem kui 1000 kW ja mis on ajutises paralleeltöös elektrivõrguga, klassifitseerub Võrgueeskirja järgi elektri tootmise seadmeks ja sellest johtuvalt kehtivad sellele kõik elektritootmise seadmetele kehtestatud nõuded. [1]

## ***Testkoormuse ühenduspunkti sidumine hoone RLA-ga***

### ***A. Hoonel on kaks elektritoite sisendit***

RLA ja testkoormuse ühendusskeem:



**Joonis 1.** Hoone elektripaigaldise kahe sisendiga RLA primaarskeem [5]

Joonis 1 skeemi selgitused:

- Põhitoiteliini F1 normaalpingel on suletud mootorajamiga koormuslülitid (edaspidi lülitid) Q1 ja Q4, avatud on lüliti Q2. Lüliti Q3 on asendis 0;

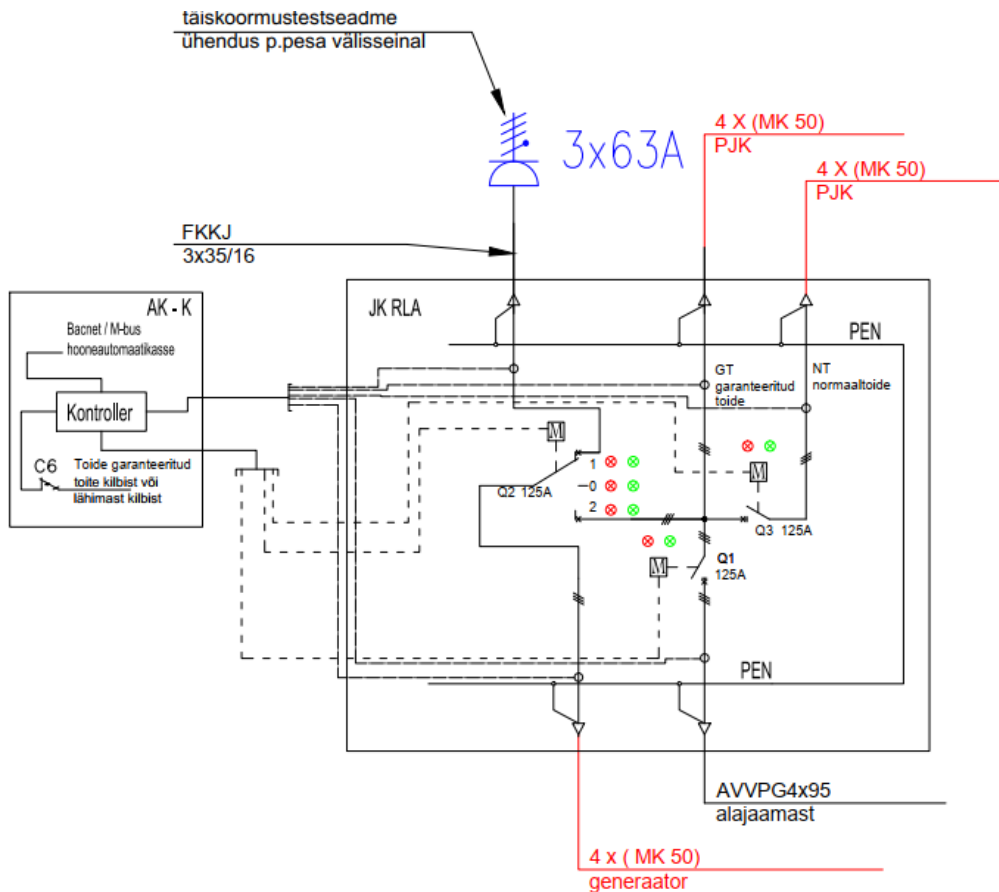


- Põhitoiteliini F1 rikkel ja reservtoiteliini F2 normaalpingel on suletud lülitid Q2 ja Q4, avatud on lüliti Q1. Lüliti Q3 on asendis 0;
- Mõlema toiteliini F1 ja F2 rikkel on lüliti Q3 asendis 1. Lülitid Q1 ja Q2 on avatud. Rikke korral käivitub generaator max 10 sekundi jooksul ja 3-5 sekundi pärast lülitatakse lüliti Q3 asendisse 1;
- Toitepinge taastumisel ükskõik kumbal toitefiidril lülitatakse generaator võrguga sünkroontöösse ja koormus kantakse generaatorilt võrgule tagasi etteantud aja (3-5 min) jooksul;
- Täiskoormustesti teostamise ajal on lüliti Q3 asendis 2, Lülitite Q1, Q2 ja Q4 asendeid/olekuid ei muudeta;
- Täiskoormustesti ajal fiidritelt pinge kadumisel lülitatakse Q3 asendisse 0 ning seejärel lüliti Q4 asendisse 1.

Kirjeldatud algoritm on ette nähtud olukorras, kus kogu hoone on normaalolukorras ühe sisendfiidri toitel ja selle rikke korral läheb üle teise sisendfiidri toitele.

### ***B. Hoonel on üks elektritoite sisend***

RLA ja testkoormuse ühendusskeem:



**Joonis 2.** Hoone elektripaigaldise ühe sisendiga RLA primaarskeem [5]

Joonis 2 skeemi selgitused:

1. Põhitoiteliini F1 normaalpingel on suletud mootorajamiga koormuslüliti (edaspidi lüliti) Q1. Lüliti Q2 on asendis 0;
2. Toitefiidri rikke korral on lüliti Q2 asendis 2. Lülitid Q1 ja Q3 on avatud;
3. Rikke korral käivitub generaator max 10 sekundi jooksul ja 3-5 sekundi pärast lülitatakse lüliti Q2 asendisse 2;
4. Toitepinge taastumisel kontrollitakse võrgupinge olemasolu etteantud aja jooksul (tavaliselt 3 minutit) ja lahutatakse seejärel generaator võrgust
5. Täiskoormustesti teostamise ajal on lüliti Q2 asendis 1. Lülitite Q1 ja Q3 asendeid/olekuid ei muudeta.
6. Täiskoormustesti ajal toitefiidril pinge kadumisel lülitatakse lüliti Q2 asendisse 2.

Kirjeldatud algoritm on ette nähtud olukorras, kus kogu hoone on normaalolukorras ühe sisendfiidri toitel ja selle rikke korral ühendatakse generaator garanteeritud toite kilbiga, mis toidab vajalikke hoone elektripaigaldise seadmeid ja süsteeme.

### ***Koormustesti teostamine***

Vastavalt generaatorite tootjete haste nõudmistele tuleb koormustestid läbi viia nimikoormusel igakuise perioodisega. Testi kestuseks on tavaliselt üks tund. [2, 3, 4]

Testi käigus teostatakse generaatori tööparameetrite monitooring, mille käigus märgitakse üles generaatori põhilised tööd iseloomustavad parameetrid:

1. Diiselmootori töötamisega seonduvad parameetrid, nagu:

- pöörete arv
- jahutusvedeliku temperatuur
- õlirõhk
- õli temperatuur
- aku laadimisega seonduvad parameetrid (pinge, vool)
- kütuse kogus (algne, kulunud/lisatud, jääk)
- töötunnid

2. Generaatori töötamisega seonduvad parameetrid, nagu:

- toitepinge sagedus
- toitepingete väärtused (V) kõikide faaside vahel
- toitepinge väärtused (V) kõikide faaside ja neutraali-/maa vahel
- 3-faasilised võimsused (kW) kõikide faaside vahel
- 1-faasilised võimsused (kW) kõikide faaside ja neutraali-/maa vahel
- 3-faasilised voolud (A) kõikide faaside vahel
- 1-faasilised voolud (A) kõikide faaside ja neutraali-/maa vahel

Kord aastas tehakse koos koormustestiga varutoitegeneraatorile ka korraline hooldus, mille käigus vahetatakse üldiselt:

- Mootori õli
- Õhufilter
- Õli- ning kütusefiltrid
- Jahutusvedelik vastavalt tehasepoolsele välbale (nt. 2 või 5 aasta järel)

Aku vahetatakse tavaliselt 5 aasta järel. Klappide reguleerimine ja muud mootoriga seotud hooldus on juba mootori põhine ja sõltub tootja ettekirjutustest. [2]

Koormustestid korraldab tavaliselt elektripaigaldise kasutamise järelevalvaja koos generaatori paigaldaja/hooldajaga, sest hea tava kohaselt ja vastavalt seadusandlikele võimalustele sõlmitakse hooldusleping paigaldajaga.

Koormustestid jagunevad [2]:

**1. Osakoormusega test:**

- ilma koormuseta nõ „tühikäivitused“, kestusega max 5 minutit
- testkäivitus osakoormusel, so. hoone koormusel (kestvus mitte alla 5 min), mille käigus testitakse lisaks RLA rakendumist ja seonduvate vooluahelate ning ümberlülituste toimimist

**2. Täiskoormustest:**

- tavaelektripaigaldistes viiakse läbi üldjuhul sagedusega üks kord aasta mille käigus testitakse lisaks RLA rakendumist ja seonduvate vooluahelate ning ümberlülituste toimimist [2, 4];
- sagedusega üks kord kuus viiakse läbi väga kõrge elektrivarustuse kindluse nõuetega hoonete elektripaigaldistes, nagu (suur)haiglad, militaar-, sisejulgeoleku- ja suurõnnetuse ohuga objektid, pangad jpm.

Reaalselt läbi viidavad koormustestid erinevad tavaliselt mingil määral eelpool kirjeldatud sagedustest ja tegevustest, mille põhjuseks on enamasti objektide kasutamise eripärad, geograafiline asukoht ning nendest tulenevatest tegevustest.

### **TULEMUSED JA ARUTELU**

Käesolevas ettekandes käsitletud varutoite generaatorite kasutamise, testkoormuste ühenduspunktide väljaehitamise ja koormustestide läbiviimise põhimõtted on üldistatud ja mõeldud ülevaate andmiseks laiemale kuulajaskonnale, kellel on eelduslikult olemas teadmised antud valdkonnas.

Kuna käsitletud valdkond on kõrgendatud nõudmistega elektritoite avariivarustuse tagamisel ja leiab kasutamist nõ strateegilistel objektidel siis on siin väga palju erisusi nagu näiteks on kirjeldatud meditsiinipaigaldiste standardis [3] ning lahendusi ja tegevusi, mis on välja töötatud konkreetsete objektide elektripaigaldiste avariitoite tagamiseks.

### **JÄRELDUSED**

Generaatori tõrgeteta töö ja sellega seonduvalt ka elektripaigaldise avariitoite varustuskindlus on otseses sõltuvuses läbi viidavatest perioodilistest hooldustest ja testidest. Nimetatud tegevused eeldavad toiminguid läbi viiva personali laialdasi teadmisi ja töökogemust antud valdkonnas.

Elektripaigaldises, selle juures või lähedal ohutuks töötamiseks ette nähtud tööriistad, -seadmed ja -vahendid peavad üheselt vastama oma kasutusotstarbele, neid tuleb asjakohase hooldamisega hoida alatises kasutamiskorras ja neid tuleb ettenähtud viisil kasutada ning hoiustada.

### **KASUTATUD KIRJANDUS**

[1] Baltic Marine Group AS. Diislegeneraatorid. [WWW]

<http://www.generaator.bm.ee/Diislegeneraator/Avaleht.html>

[2] RKAS juhend: „Tehnilised nõuded mitteeluhoonetele 2020“. [WWW]

<https://nouded.rkas.ee/>

[3] Eesti Vabariigi standard EVS 807 „Kinnisvarakeskkonna juhtimine ja korrashoid“

[4] Eesti Vabariigi standard EVS-HD 60364-7-710 „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 7-710. Ravipaigad.“

[5] Töö autori intellektuaalne omand

## Päikeseelektrijaama tootlikust mõjutavad tegurid

L. Kolberg

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

**Abstract.** The aim of this thesis was to highlight the main influencers of the PV solar system performance and production. It's important in order to prevent smaller production rates than estimated and to take them into account already in the planning or improvement process of PV system. This work is based on other authors works and findings. Results are analysed, synthesized and presented to readers. There are many factors affecting PV system performance, both technological and natural that has to be considered. Moreover, one has to take into account synergies and interactions of factors. Proposal is made to analyse factors affecting PV plant operating in Estonia with possible solutions for suitable both in technical and economical manner.

**Keywords:** PV solar energy, inverter loading ratio, irradiance, mismatch losses, tilt angle

### SISSEJUHATUS

Taastuvatest energiaallikatest toodeti Eestis 2019.a. 1 946 GW·h elektrienergiat, mis moodustas 21% elektrienergia kogutarbimisest. Sellest omakorda 54 GW·h toodeti päikeseenergiast. 2019. a. lõpu seisuga tootis päikeseelektrit üle 2 200 tootja ja tootmisjaamade koguvõimsus oli 88 MW. [1]

Eestis levivad peamiselt võrku ühendatud lahendused, kus päikesepaneelidest saadav elektrienergia muundatakse võrgukõlblikuks inverterite abil. Enamlevinud on lahendused mille puhul kasutatakse suurem osa energiat ära kohapeal. [2] Oma päikeseelektrijaam on kõige kuluefektiivsem viis energiakulusid alandada olukorras, kus elektrienergia on olulisim sisend – olgu see siis kodumajapidamine või ettevõtte [3].

Päikeseelektrijaama tasuvusaeg sõltub olulisel osal toetustest. Jaamade rajamisel saab kasutada investeeringutoetusi ja toodangutoetusi. [3] 2020.a seisuga on aga need kaks toetust teineteist välistavad, ehk kui rajamiseks kasutada investeeringutoetust, siis toodangutoetust ei ole võimalik saada [4]. Hinnanguliselt vähendab 30% investeeringutoetus jaama tasuvusaega 1/3 võrra [3].

Tänu kiirele tehnoloogiaarengule ja nõudluse kasvule on viimastel aastatel oluliselt langenud päikeseelektrijaamade rajamise maksumus, mis omakorda on lühendanud nende tasuvusaega ja muutnud päikeseenergia konkurentsivõimelisemaks ning tasuvamaks [3, 5, 6]. Eraldiseisvad, 0,5 MW võimsusega, ja 100% võrku tootmisele suunatud jaamu on võimalik Eestis rajada maksumusega 500-550 €/kW (Maksumus on toodud paneelide summaarse võimsuse kohta arvestamata liitumise ja paigalduskinnisvara maksumust), mis tagab tasuvusaja oluliselt alla 10 aasta (tootmis põhise toetuse olemasolul) ka laenukapitali kasutades.

Riiklikud toetused ja tehnoloogia maksumuse vähenemine oli ajendiks, miks 2018.a rajati Eestisse suuremaid kui 200 kW ja võrku müümisele suunatud tootmisjaamu [6-7].

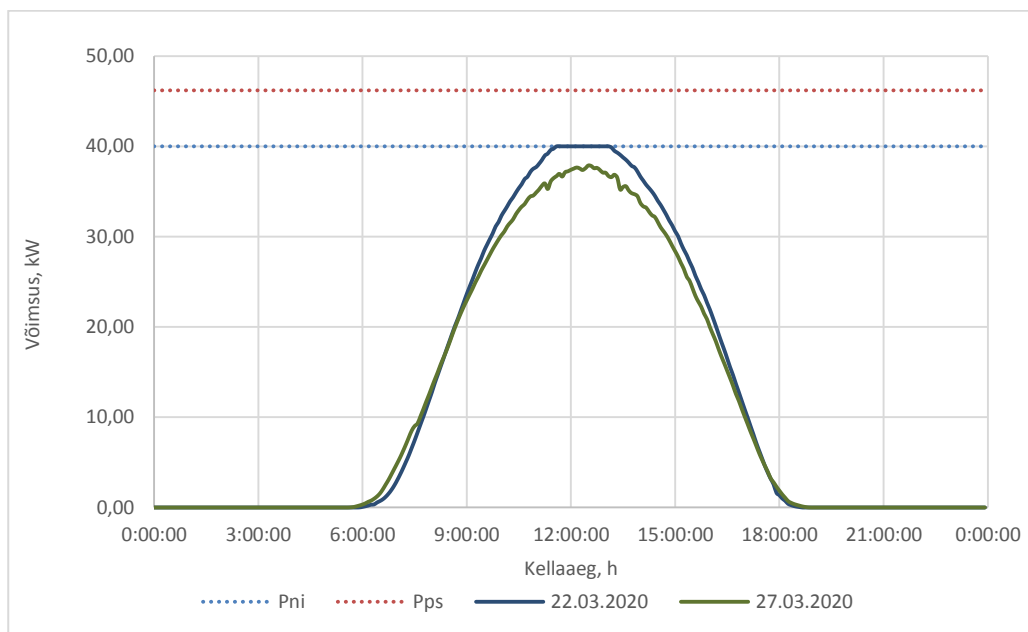
Toodangutoetuse muudatused 2018.a (lõppes alla 1 MW jaamadele toetuse eraldamine) ja 2020a. lõpu seisuga, mille kohaselt ei anta toetust enam automaatselt kõigile toodangu eest, muudavad ainult elektrimüügi eesmärgil rajatavad jaamad mittetasuvask investeeringuks [8]. Siiski on ette nähtud võimalused, ka tulevikus toodangupõhist toetust saada vähempakkumise kaudu [4] aga see lahendus soodustab eelkõige jaamu, kus enamus energia tarbitakse kohapeal [3].

Päikeseelektrijaama rahavooge saabki vaadata läbi kolme finantskomponendi: säästmine – elektri võrgust ostmise, võrgutasude ja maksude pealt; müügitulu – kohapeal kasutust mitte leidva energia müük võrku börsihinnaga; taastuenergia toetuse laekumine – võrku antud energia eest [9]. Võrrandi teise poole komponendiks on maht ehk mitu kW·h või MW·h jaam toodab.

Võrku müügi eesmärgil rajatud jaama puhul säästmiskomponent puudub aga seda tasakaalustab taastuenergia toetus, mida on võimalik saada kogu toodangu eest.

Elektri börsihind sõltub üldisest seisust elektriturul ja see on muutuv nii ööpäeva kui ka aasta jooksul, siiski jäävad kõrgemad hinnad just päevasele ajale, mis ühtib päikeseelektri tootmise graafikuga [10].

Olukorras, kus taastuenergia toetus on fikseeritud ja elektri hind on börsi määrata on teatava piirini võimalik stabiilsust või kindlust saavutada läbi hästi planeeritud tootmisjaama ning teadvustades võimalikke mõjutajaid, millega arvestades stabiilsem ja ootuspärasem elektritoodang saavutada ning tasuvusaega lühendada.



Joonis 1. Sama paneelimassiivi võimsuskõver 22.03.2020 ja 27.03.2020 [21]. Power graph of the same panel array in 22.03.2020 and 27.03.2020.

Joonisel 1 on esitatud sama paneelimassiivi (Ühe inverteriga ühendatud 8 erinevat jadaühendusega paneelirida) võimsusgraafik erinevatel kuupäevadel (22.03 ja 27.03.2020). Paneelimassiiv asub Peipsi järve lähedal, Tartumaal. Joonisel on vertikaalsete markeritena toodud inverteri nominaalne võimsus ( $P_{ni}$ ) ja massiivi

ühendatud paneelide summaarne võimsus standardse testimistingimuste juures ( $P_{ps}$ ). Ideaalne või oodatud olukord on, kus süsteem saavutab võimalikult kiiresti inverteri nominaalse taseme ja püsib sellel tasemel võimalikult kaua. Mõlemal päeval oli asukohas pilvitu ja päikesepaisteline ilm, aga 27.03.2020 paneelimassiiv oodatud maksimumi ei saavutanud ning tootis 17 kW·h vähem energiat. 25 paneelimassiivi peale teeb see erinevuseks 425 kW·h.

Uurimuse eesmärgiks on analüüsida ning võrrelda PV süsteemide tootlikkust mõjutavaid tegureid. Millised tegurid esinevad? Kuidas nad tootmist mõjutavad? Mida saab ära teha mõju vähendamiseks? Miks kahel erineval ent päikesepaistelisel päeval annab sama paneelimassiiv tootmisvõimsuse erineva tulemuse?

## MATERIAL JA METOODIKA

Käesolev töö annab ülevaate erinevate autorite poolt läbiviidud ja erinevates tingimustes, seadetes ning võimsustega PV süsteemide toodangut mõjutavate tegurite uurimuste tulemustest. Varasemate uurimuste tulemusi võrreldakse ja analüüsitakse eesmärgiga tuua välja olulisemad mõjutajad ja nende mõju ulatus koos võimalike lahendustega, negatiivse mõju vähendamiseks. Tulemused aitavad efektiivsemalt ja majanduslikult kasumlikumalt tulevasti PV süsteeme planeerida ja rajada ning olemasolevaid täiustada või parendada.

## TULEMUSED JA ARUTELU

Üldistatult saab PV süsteemide tootlikkuse mõjutajatena välja tuua järgmised faktorid [11]:

- päikesekiirguse tase;
- ümbritsev keskkond;
- paneelide pinna määrdumine;
- paneelide suund ja kalle.

Kindlasti on mõjutajaks ka kasutatavate paneelide [12-13] ja inverterite [14] tehnoloogilised karakteristikud.

Paneelide võimsused on tootja poolt antud STC olukorras (*Standard Test Conditions* – paneeli maksimaalne võimsus tingimustel: päikesekiirgus 1000 W/m<sup>2</sup>, paneeli temperatuur 25 °C ja õhumassi indeks 1,5), aga reaalses olukorras esineb selliseid tingimusi harva ja kaootiliselt ning paneelid ei saavuta oma nimivõimsust [15]. Soomes on leitud, et aasta jooksul esineb päikesekiirgust 1000 W/m<sup>2</sup> või rohkem kõigest 84 h jooksul [18], samas Brasiilias toodetakse 32% PV süsteemi aastast toodangust olukorras, kus kiirgus on üle 1000 W/m<sup>2</sup> [19]. Ehk arvestada tuleb asukohale vastava kiirgusolukorraga.

Oluline on ka kiirgustaseme ja temperatuuri omavaheline seos nii keskkonna kui tehnoloogia mõistes. Looduslikus olukorras on päikesekiirgus ja temperatuur omavahel tugevas seoses, ehk kohad, kus päikesekiirgus on kõrge esineb ka kõrgem temperatuur, kahe faktori mõju tootlikkusele on aga vastassuunaline [15]. Veel enamgi – kõrge kiirgusetase paneb paneelid täisvõimsusel tööle ja selle tulemusel tõuseb paneeli temperatuur ka jahedamates keskkondades [15, 18]. Paneeli temperatuuri tõustes

paneeli pinge alaneb ja vool suureneb aga kuna pinge alaneb väärtuses rohkem kui vool suureneb siis paneeli võimsus väheneb [18].

Päikesekiirguse ja läbi selle süsteemi võimsuse muutlikust mõjutavad ka pilved ning nende poolt tekitatavad varjud paneelidele. Paneelide varje või osalist katmist päikesekiirguse eest võivad tekitada ka lähedal olevad objektid (näiteks mobiilimast), lumi ja paneelipinnal olev mustus [16]. Samas on täheldatud, et tänu pilvedele saavutavad päikesepaneelid ka oma tippvõimsuseid. Seda just keskmisest madalama kiirgustasemega regioonides. Maksimaalne võimsus saavutatakse tänu pilvise ilma keskmisest madalamale temperatuurile ja olukorrale kus pilv liigub päikese eest ära mille tulemusel kiirgus järsult suureneb aga ümbritsev keskkond ja tehnika on madala temperatuuriga. Tipud saavutatakse sellistes olukordades võrdlemisi lühikeseks ajaks, kuna paneelid ja inverterid soojenevad maksimaalsel võimsusel töötades. [15, 16]

Kõrbetingimustes, kus esineb paneelidele liivatolmu langemist, on leitud, et paneeli määrdumise tasemel 15% väheneb süsteemi efektiivsus 12% [17]. Määrdumistaseme suurt mõju tootlikkusele on täheldatud ka Brasiilias [19]. Põhjamaades, kus esineb talvel lund, mis paneele katab, on selle mõju aastasele tootmismahule alla 5% kuna talvine tootmismahut on tänu lühikestele päevadele ja madalale päikesele ka ilma paneelide lumekatteta väga madal [18].

Uurides tootlikkuse sõltuvust paneeli tehnoloogiast on leitud, et monokristalse tehnoloogiaga paneelid töötavad palju efektiivsemalt kui amorfse tehnoloogiaga paneelid [12, 19]. Parima tulemuse võib aga saada polükristall tehnoloogiaga paneelidega [12].

Inverterite puhul on mõjutajaks eelkõige kasutatav kaitseskeem ja efektiivsuskõver, mis iseloomustab inverteri muundamisvõimekust erinevatel võimsustasemetel [15, 18]. Mõjutajaks on ka paneelide ühendamisskeem inverteriga ning eelkõige jadamisi massiivi ühendatud paneelide arv [16]. Erineva asukohaga, vanusega ning tehnoloogiliste karakteristikutega päikeseelektriiaamade uuringus on leitud, et aja jooksul paneelide ja inverterite efektiivsuse langemise ning kaablikadude tõttu jääb realiseerimata keskmiselt 26,79 % jaama maksimaalsest päikeseenergiast [12].

Paneelide kaldenurk ja asimuut mõjutavad samuti süsteemi tootlikust. Oluline on leida süsteemi asukohale vastav optimaalne kaldenurk. Energiatootmise vaatevinklist on lõuna ilmakaarde suunatud paneelid optimaalne lahendus. Samas paneeli optimaalsed kaldenurgad võivad varieeruda 30°–40° erinevates geograafilistes asukohtades. [12] Soomes on leitud, et 40 kraadise kaldenurgaga, vertikaaltasapinna suhtes, paigaldatud paneelidele langeb 27% rohkem päikesekiirgust, kui horisontaalselt paigaldatud paneelidele ning et Lõuna-Soomes on võimalik päikesest parim tulemus saada, paigaldades paneelid 45 kraadise kaldenurgaga [18].

Põhjuseks, miks süsteemid oma maksimaalset võimsust ei saavuta, võib olla ka asjaolu, et osa massiivis olevatest paneelidest on füüsiliselt katki või defektiga [16]. Eesti suuremates päikeseparkides võib olla üle 4 000 paneeli ja ühes massiivis üle 200 paneeli. See maht muudab tõenäoliseks olukorra, kus süsteemis võib mõni selline paneel eksisteerida.

Eelpool väljatoodud mõjude maandamiseks on välja pakutud erinevaid võimalusi [5, 12, 15–19]. On ilmne, et füüsiliselt katki või defektiga süsteemikomponent tuleb välja vahetada. Samas ajajooksul vähenenud efektiivsusega komponentide



väljavahetamine ei ole finantsiliselt otstarbekas kuna päikeseelektrisüsteemid on pikaajaline investeering 20 või enama aastat peale [5, 15, 18]. Lisaks on uuem ja efektiivsem tehnoloogia eeldatavalt ka kallim.

Määrdunud või lumega kaetud paneeli saab puhastada aga hinnata tuleb puhastamise kulusid ja puhastamise tulemusena saadavaid tulusid [17, 18].

Lisaks aastakeskmise optimaalse fikseeritud kaldenurga valimisele on võimalik paigaldada ka muudetava kaldenurgaga süsteeme eesmärgiga seda muuta, vastavalt päikese kõrgusele. Samas tuleb arvestada, et sellised süsteemid on kallimad ning tänu liikuvatele osadele ka tundlikumad tuulele [18].

Süsteemi asukoha valikul tuleb eelistada asukohtasid, kus ei oleks fikseeritud objekte, mis varjavad paneele [12] ning pilvede poolt tekitatud varjude mõju vähendamiseks on mõistlik analüüsida asukoha meteoroloogia andmeid ning paneelimassiivid paigaldada nii, et enamus pilvi liiguks risti üle massiivi [16]. Samas see lahendus ei pruugi vastata asukoha optimaalsele asimuudile. Lisaks väheneb selliste massiivide puhul tuule jahutav mõju [15]. Pilvevarjude mõju vähendamise üks võimalus on ka jadamisi ühendatud paneelide arvu vähendamine [16] aga see mõjutab süsteemi efektiivsuseks töötamiseks vajaliku pinge saavutamist.

Inverterite puhul on mõistlik eelistada piirava kaitseskeemiga invertereid väljalülitava kaitseskeemiga inverteritele. Piirava kaitseskeemiga inverterid suudavad jätkata tööd olukordades, kus paneelide poolt toodetav võimsus ületab inverteri nimiväärtuse, väljalülitava kaitseskeemi korral töö seiskub. Temperatuuri mõju vähendamiseks on soovitatud paigaldada inverteri kastidele lisaventilaator, mis temperatuuri tõustes inverterit jahutaks. Leitud on, et see parandaks inverteri efektiivsust, nominaalsest kõrgemal oleva temperatuuril töötades, 2 %. [15]

Mitmed autorid on oma töös välja toonud, et hästi läbimõeldud ja asukoha kliimaatilistele tingimustele vastav ILR (*Inverter Loading Ratio*, inverteri võimsussuhe), mis näitab süsteemi paigaldatud paneelide võimsuse suhet inverteri nimivõimsusesse, võib aidata maandada paljusid eelpool mainitud mõjutegureid [15, 18, 19]. Kui ILR väärtus on 100%, siis on süsteemis olevate paneelide STC võimsuste summa võrdne inverteri nimivõimsusega. Kui väärtus on üle 100%, siis on paneelide summaarne võimsus vastavas osas suurem ning vastupidi. [18] Õige suhtarv tagab pikemal perioodil maksimaalse inverteri võimsuse ja läbi selle ka suurema toodangumahu.

Kõige paremini on õige suhtarvuga võimalik maandada mõjusid, mis tulevadki STC paneelivõimsuse ja reaalses olukorras saavutatava võimsuse vahedest ning läbi selle ühtlasi temperatuuri ja päikese kiirguse väärtuste mõjudest [15, 18, 19]. Lisaks on võimalik maandada mitteoptimaalse kaldenurga ja asimuudi mõju [18]. Kaasnevaks mõjuks on rahaline pool kuna rohkem paneele tähendab suuremat kulu, mis on oluline arvesse võtta [15, 18].

Soomes on leitud, et 10 kW inverteri puhul on optimaalne paigaldada 16 kW paneele, mis teeb suhtarvuks 160% [18]. Brasiilias on tuvastatud, et seal asuvate suure võimsusega päikese parkide puhul on optimaalseks suhtarvuks 126% [19]. Välja on ka toodud, et mida väiksem on süsteemi koguvõimsus seda suurem on optimaalne suhtarv [18].

Las Vegases asuva süsteemi optimaalse ILR väärtuse leidmisel üksnes päikese kiirguse andmete alusel saadi tulemuseks 106 % aga temperatuuri andmete

alusel 147 % [15] Seega tuleb suhtarvu leidmisel arvestada kõigi mõjutavate faktoritega, vastasel juhul võib tulemus olla, süsteemi kui tervikut arvestades, väär ning tulemus koguni vastupidine soovitud.

Kokkuvõtvalt saab tuua, et joonisel 1. toodud olukorra selgitus võib peituda Riigi Ilmateenistuse meteoroloogilistes andmetes, mille kohaselt oli 22.03.2020 keskpäevane temperatuur 1 kraadi lähedal aga 27.03.2020 üle 5 kraadi.

## JÄRELDUSED

Käesolevas töös toodi välja valitud autorite poolt läbiviidud uurimuste tulemused päikeseelektrijaamade tootlikust mõjutavatest teguritest, nende mõju ulatusest ja võimalikest maandamistegevustest. Analüüsi toetati tehnoloogiliste ülevaadete ja inverteritootja soovitudustega.

Antud töös väljatoodud mõjufaktorid ei ole kindlasti kõikehõlmavad ning neid esineb kindlasti veel. Samas autor on veendumusel, et olulisemad on välja toodud.

Täiendavat uurimist vajab eespool nimetatud tegurite mõju Eestis töötava päikeseelektrijaamale koos analüüsi ja ettepanekutega sobilike ning majanduslikult kasumlike lahenduste osas.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Elering AS (2020). Taastuvelekter kattis möödunud aastal 21 protsenti elektri kogutarbimisest. [veebileht] <https://elering.ee/taastuvelekter-kattis-moodunud-aastal-21-protsenti-elektri-kogutarbimisest> (30.03.2020)
- [2] Tiik, A. (2010). Päikeseelekter. – *Keskkonnatehnika*, 4/2010, lk 28-29. [veebileht] [https://keskkonnatehnika.ee/wp-content/uploads/2017/09/KKT\\_2010\\_04.pdf](https://keskkonnatehnika.ee/wp-content/uploads/2017/09/KKT_2010_04.pdf) (30.03.2020)
- [3] Meesak, A. (05. Juuni 2018). Päikesejaam olgu igaühe võimalus. – *Äripäev*. [veebileht] <https://www.aripaev.ee/arvamused/2018/06/05/paikesejaam-olgu-igauhe-voimalus> (30.03.2020)
- [4] Võrgueeskiri. (vastu võetud 26.06.2003, viimati jõustunud 27.04.2019). – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/12831412?leiaKehtiv> (30.03.2020)
- [5] Simola, A., Kosonen, A., Ahonen, T., Ahola, J., Korhonen, M., Hannula, T. (2018). Optimal dimensioning of a solar PV plant with measured electrical load curves in Finland. – *Solar Energy* Vol. 170, pp. 113–123. [veebileht] <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.05.058> (02.02.2020)
- [6] Veersalu, L. (2019). Päikeseenergia on suur tulevik. – *TööstusEST*, September 2019. [veebileht] <https://toostusest.ee/uudis/2019/09/04/paikeseenergia-on-suur-tulevik/> (30.03.2020)
- [7] Taastuenergia aastaraamat 2018. /Koost. M. Annus, A. Lokk, K. Tralla, O. Petrova. Tallinn: Eesti Taastuenergia Koda. 44 lk. [veebileht] <http://www.taastuenergeetika.ee/wp-content/uploads/2019/06/ETEK-Taastuenergia-aastaraamat-2018.pdf> (30.03.2020)
- [8] Raig, T. (2018). Päikesejaama rajamine muudeti riskiettevõtmiseks. – *Põllumehe Teataja*, Juuni 2018. [veebileht]

- <https://pollumeheteataja.ee/uudis/2018/06/29/paikesejaama-rajamine-riskiettevoimine/> (30.03.2020)
- [9] Swedbank AS (2019). Keskkonnasõbralik kodu: kuidas panna päike enda jaoks raha teenima? [veebileht] <https://kukkur.swedbank.ee/kodu/keskkonnasobralik-kodu-kuidas-panna-paike-enda-jaoks-raha-teenima> (30.03.2020)
- [10] Oja, K. (2018). Energia tagasimüük – kellele ja kuidas? – *TM Säästlik kodu*, 2018. [veebileht] <https://kodus.ee/artikkel/energia-tagasimuuk-kellele-ja-kuidas> (30.03.2020)
- [11] Maximum Freedom when Oversizing. (2020). Oversizing Whitepaper. SMA Solar Technology AG. [veebileht] [https://www.sma.de/fileadmin/content/global/specials/documents/oversizing/Whitepaper\\_Oversizing\\_EN\\_180530\\_01.pdf](https://www.sma.de/fileadmin/content/global/specials/documents/oversizing/Whitepaper_Oversizing_EN_180530_01.pdf) (27.01.2020)
- [12] Srivastava, R., Tiwari, A. N., Giri, V. K. (2020). An overview on performance of PV plants commissioned at different places in the world. – *Energy for Sustainable Development* Vol. 54, pp. 51–59. [veebileht] <https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.10.004> (13.02.2020)
- [13] Shubbak, M. H. (2019). Advances in solar photovoltaics: Technology review and patent trends. – *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 115, Issue C. [veebileht] <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109383> (04.02.2020)
- [14] Dogga, R., Pathak, M. K. (2019). Recent trends in solar PV inverter topologies. – *Solar Energy* Vol. 183, pp. 57–73. [veebileht] <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.065> (12.02.2020)
- [15] Chen, S., Li, P., Brady, D., Lehman, B. (2013). Determining the optimum grid-connected photovoltaic inverter size. – *Solar Energy*. Vol. 87, pp. 96–116. [veebileht] <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.09.012> (02.02.2020)
- [16] Lappalainen, K., Valkealahti, S. (2017). Effects of PV array layout, electrical configuration and geographic orientation on mismatch losses caused by moving clouds. – *Solar Energy*. Vol. 144, pp. 548–555. [veebileht] <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.066> (02.02.2020)
- [17] Fathi, M., Abderrezek, M., Grana, P. (2017). Technical and economic assessment of cleaning protocol for photovoltaic power plants: Case of Algerian Sahara sites. – *Solar Energy*. Vol. 147, pp. 358–367. [veebileht] <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.053> (02.02.2020)
- [18] Väisänen, J., Kosonen, A., Ahola, J., Sallinen, T., Hannula, T. (2019). Optimal sizing ratio of a solar PV inverter for minimizing the levelized cost of electricity in Finnish irradiation conditions. – *Solar Energy*. Vol. 185, pp. 350–362. [veebileht] <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.04.064> (20.03.2020)
- [19] Martins Deschamps, E., Rüther, R. (2019). Optimization of inverter loading ratio for grid connected photovoltaic systems. – *Solar Energy*. Vol. 179, pp. 106–118. [veebileht] <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.051> (25.03.2020)
- [20] Riigi ilmateenistus. (2020). Vaatlusandmed asukohas Tiirikoja. [veebileht] <https://www.ilmateenistus.ee/ilm/ilmavaatlused/vaatlusandmed>
- [21] Porinurme PEJ toomisandmed. Särje Talu OÜ ametkondlik info. Käsi post.

## Valga raudteejaama välisvalgustuse probleemid

M. Roosik

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

**Abstract.** The report focuses on external lighting problems at Valga railway station. As it is a border station and station work around aclock, lighting plays an important role in ensuring the safety of workers. In addition, of course, to protect customers' property. Problem solving involves changing the spotlights, changing one mast at the same location, moving one mast to the other. In addition, the design of new cable lines, distribution boards and control panels. Existing cable lines can be partially retained.

**Keywords:** Safety, luminance, maintenance, energy saving

### SISSEJUHATUS

Valga raudteejaam on AS Eesti Raudteele kuuluv üks kolmest piirijaamast, kus toimub rongide vastuvõtmine, koostamine ja ärasaatmine ööpäevaringselt ja seda kõigil päevadel aastas.

Valga raudteejaam laiub 22,7-l hektaril, selle koosseisu kuulub 22,7 kilomeetrit rööbasteid koos 49 pööranguga. Jaama läbilaskevõime on 18 rongipaari ööpäevas.

Jaamas on välisvalgustus ennekõike vajalik töötajate ohutuse tagamiseks ja ka vara kaitseks. Hetkel on probleemideks valgustuse ebahühtlus jaamapargis, naatriumlampide töökindlus, valgustuse juhtimine ja vananenud elektrijaotusseadmed. Kõigi loetletud punktide lahenduseks on kogu jaama territooriumil asuva välisvalgustuse rekonstrueerimine. Oluliseks osaks selles on üleminek leed tehnoloogiale.



Joonis 1. Näide vananenud jaotuskiibist

Figure 1. Example of an outdated distribution board

## MATERJAL JA METOODIKA

Raudtee tehnokasutuseeskirja punktis number 58 on ära loetletud raudteejaama osad, mis peavad olema valgustatud. Nendeks on: reisiteenindusehitised, rongide vastuvõtu-ärasaateteed ja -pargid, laadimis- ja manöövriteed, veeremi varustamise, tehnohoolde- ja remonditeed, kohad, kus jaamakorraldajad kohtavad ronge, pöörmekõrikud, ülekäigukohad ning vajaduse korral ka muud teed ja asukohad [1].

Valgustus peab vastama kehtivatele normidele, tagama rongiliikluse ja manöövritöö ohutuse, reisijate vagunitesse sisenemise ja väljumise ohutuse, teenindava personali häireteta ja ohutu töö [1].

Välisvalgustuse rekonstrueerimisel ühtlase valgustatuse saavutamisel lähtutakse standardile EVS-EN 12464-2:2014, kus on ära kirjeldatud nõuded välistöökoha valgustusele. Vastavalt standardile tuleb projekteerimisel arvestada tabelis 1 ära toodud keskmise valgustiheduse väärtuseid, mis kehtivad raudteel ja on kasutatavad antud projekti raames.

**Tabel 1.** Nõutavad keskmised valgustiheduse väärtused raudteedel. Allikas [2]

**Table 1.** Required average luminance values for railways. Source [2]

Piirkond, töö või tegevus	Keskmine valgustihedus, lx
Reisijaaamade rööbasteed, sealhulgas varikatuse all	10
Rongide koostamis-, aeglustus- ja sorteerimisalad	10
Kaubarongide lühioperatsioonid	10
Raudteepiirkondade käiguteed, lahtised ülekäigusillad	10
Kaubarongide kestvad operatsioonid	20
Ülesõidukohad	20

Valgustuse nõuetekohasuse saavutamiseks projekteeritakse naatriumlampidega prožektorite asendamine leedprožektoritega olemasolevatel 28 meetristel mastidel. Mastid ise on heas seisukorras, välja arvatud mast number kaks, mis tuleb vahetada uue sõrestikmasti vastu. Lisaks nähakse ette masti number neli üleviimine teisele poole raudteid, kuna hetkel asuvad kaks masti (kolm ja neli) vastastikku ja sellisel kujul ei ole antud mastide ja viienda masti vahelist ala valgustada.

Valgusarvutused teostatakse tarkvara DIALux evo abil, lisaks tehakse kontrollarvutused iga ala kohta ka käsitsi kasutades punktimeetodit.

Vastavalt allikale [3] avaldub valitud kontrollitava punkti A valgustihedus järgmise valemiga:

$$E_A = \frac{I_a}{r^2} \cos \alpha = \frac{I_a}{h^2} \cos \alpha = \frac{I_a \cdot h}{r^3}, \quad (1)$$

kus  $E_A$  on valgustatava rõhtpinna punkti A valgustustihedus, lx;  
 $I_a$  – punkti A suunaline valgustugevus, cd;  
 $r$  – valgustatava punkti ja valguskeskme vaheline kaugus, m;  
 $h$  – vertikaalne kaugust punktist A valgustini, m;  
 $\alpha$  – suunanurk kraadides.

Suunanurk on leitav valemiga[3]:

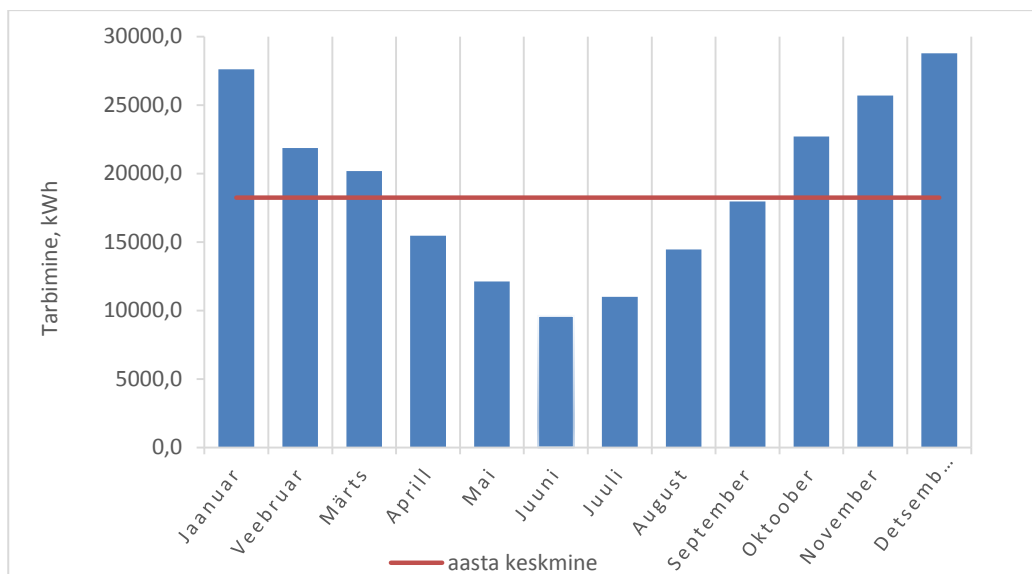
$$\alpha = \sin^{-1} \left( \frac{d}{r} \right), \quad (2)$$

kus  $d$  on horisontaalne kaugus punktist A valgusti valguskeskmesse, m.  
Punkti A suunaline valgustugevus on seega leitav järgmiselt[3]:

$$I_a = \frac{I \cdot \Phi}{1000}, \quad (3)$$

kus  $I$  on valgustugevus leitud suunanurga juures, cd/klm  
 $\Phi$  – valgusvoog, lm.

Lisaks valgustuse nõuetekohasusele on oluline ka majanduslik aspekt. Tarvis on saavutada kokkuvõtte nii elektrienergialt, kui ka hoolduskuludelt. Joonisel 2 on ära toodud 2019 aasta Valga raudteejaama elektrienergia kulu jaamapargi valgustusele kuude lõikes.



**Joonis 2.** 2019 aasta elektrienergia tarbimine

**Figure 2.** Electricity consumption in 2019

2019 aasta kogu tarbimine oli 227400 kWh ja aasta keskmine 18950 kWh.

## TULEMUSED JA ARUTELU

Joonisel 3 on ära toodud programmi DIALux evo arvutustulemus jaamasisese ülesõidu (Võru tänava ülesõit) kohta kasutades 28 meetri kõrgusel asuvaid leed tehnoloogial põhinevaid prožektoreid. Nõutav keskmine valgustihedus on 20 lx ja arvutuslik on 25 lx. Ülesõidu tarbeks on projekti järgi tarvis püstitada uus mast, asendamaks amortiseerunud 1965 aastal ehitatud sõrestikmasti.

Võru tänava ülesõit: Ristine valgustustihedus (adaptiivne) (Pind)  
 Valgustase: Valgustase 1  
 keskm.: 25.0 lx (Nõutav väärtus:  $\geq 20.0$  lx), min: 20.8 lx, max: 31.0 lx, Min/keskel: 0.83, Min/Max: 0.67  
 Kõrgus: 0.000 m, Ääretsoon: 0.000 m

Isoliinid [lx]

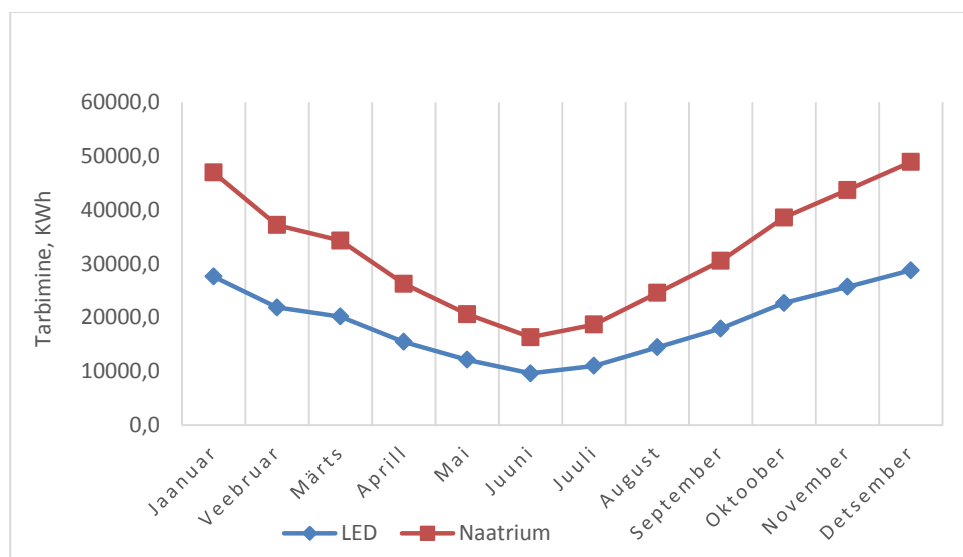


Mõõtkava: 1 : 500

**Joonis 3.** Arvutustulemus Võru tänava raudteeülesõidu kohta

**Figure 3.** Calculation result for Võru street level crossing

Arvutuslik tarbimine võrreldes olemasolevaga on ära toodu joonisel 4.



**Joonis 4.** Tarbimiste võrdlus

**Figure 4.** Comparison of consumption

Kokku on võimalik saavutada elektrienergia kulu pealt säästu hinnanguliselt 68100 kWh aastas. Aasta keskmine tarbimine kuude lõikes langeks 13270 kWh-ni.

## JÄRELDUSED

Minnes üle kõrgrõhu- naatriumlampidega prožektorite kasutamiselt leed tehnoloogiale on võimalik saavutada olemasolevaga oluliselt parem valgustuse ühtlus. Kokkuhoid elektrienergialt on võimalik saavutada tänu väiksemale prožektorite arvule igal mastil. Hoolduskulude pealt saavutatava kokkuhoiu kohta saab järeldusi teha peale vähemalt ühe aastast ekspluatatsiooni.

**KASUTATUD KIRJANDUS**

- [1] „Raudtee tehnokasutuseeskiri,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/118072015006?leiaKehtiv>. [Kasutatud 18 märts 2020].
- [2] Standard, EVS-EN 12464-2:2014 Valgus ja valgustus. Töökohavalgustus. Osa 2: Välistöökohad, 2014.
- [3] E. Altpere, Valgustehnika käsiraamat, Tallinn: Valgus, 1981.



## Tootmisandmete kogumine

### Data from the factory

A. Sirel, V. Palge

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

**Abstract.** Competitive world of manufacturing is a challenge, where is always necessary to find a development solution. Need to produce a flexible and have information on the current situation in production and to make decisions ensure the best performance. Necessary to be the preferred manufacturer. Today, talks about "Industry 4.0" and "Digitalization". These topics are the industry development and developers have greater chance to keep manufacturing competitive.

Often is a lack of information from the production line to make necessary decisions. No suitable methods and from older appliances, such information not available. Solution is to use learning and development-purpose microprocessors, which described very well in the literature on the Internet doctrines and have ready programs. Devices are, development boards Arduino, Raspberry, Odroid et al. with accessories. These development boards are all able to gather information, store and transmit. The comparison showed that the implementation Arduino with accessories would be very difficult. Odroid created more as computer and all most for media using. Raspberry is suitable with its rich network of users and their teachings offered by the internet and have lot of software ready for use.

In conclusion, extraction information from industrial lines sufficiently well with the equipment available on the market. Of course, necessary to know the microprocessors equipment and programming language to run device and achieve a result.

**Keywords:** Production, information, microprocessor, development, comparison.

### SISSEJUHATUS

On lihtne toota, kui on olemas oskused ja ressursid. Turu vajadustest sõltuvalt edeneb tootmine jõudsalt, kui on piisav nõudlus ja vastuvõetav müügihind. Kõik on tore ja tasuv kuni tekib konkurents, kui turule tulevad teised tootjad, pakuvad odavamalt hinda, kvaliteetsemat kaupa. Veelgi lisab turule tootjaid tootmise lihtsus ja kättesaadavad toormaterjalid. Tootmisprotsess vajab ka arendust. Arenduseta tootmine on paigalseis ja paigalseis on teiste arnevate konkurentidega võrreldes tagasimine. Tootmisprotsessi arendamiseks on vajalik informatsioon kasutatava tehnoloogia hetkeolukorra kohta ja tehniliste võimaluste tekkimisega saab teha arenduseks strateegilisi otsuseid.

Informatsioon võimaliku tehnoloogia kasutamise hetkeolukorra kohta on vajalik kui räägitakse teemal pealkirjaga "Tööstus 4.0" ja "Digitaliseerimine". Kokurentsitihedas maailmas on need teemad, millega tuleb tegeleda. Järjest olulisem on kulude kokkuhoiu ja protsesside parendamise meetodite leidmiseks täpselt teada tootmisprotsessi kulgemist ajas, et teha õigeid ja tulemuslikke juhtimisotsuseid.[1]

Informatsioon protsesside kulgemisest on vajalik ka tootmise planeerimisel, kuna on selge trend tellimistele toodangu partiideks “kogus – 1 tk.”. Vajalik on olla väga paindlik, vaja toota klientide soovide järgi ja olla valmis kiireks toodangu nomenklatuuri muutmiseks. Kiire ja pideva tootmisvoo ladusaks kulgemiseks on tähtis õigeaegselt saada infot tootmisliini seadmete olukorra kohta ja selle alusel korraldada seadmete hooldus.

Informatsiooni puudumisel on ootamatused kerged tulema. Tõsi on see, et ootamatused juhtuvad töö käigus, kiirel ajal. Informatsiooni saab seadmetelt ja inimestelt. Inimeste tööaeg on kallis ressurss, sellest odavam ja tunduvalt ülevaatlikum on saada ja koguda informatsiooni mõõtmisvahendite abil. Selline moodus annab võimaluse arvutilt saada juba kaalutud otsuseid ja neid siis rakendada vastavate korraldustega või kasutada teiste seadmetele sisendinformatsioonina.

### **SEADMED JA OTSTARBELINE KASUTAMINE**

Tänapäeval pakutavad uued tööpingid ja tootmisliinid on arendatud suurepärase infotehnoloogilise juhtimisega. Kaasagasetel liinidel on olemas operaatorit hoiatavad teavitused, vigadele suunavad teated, toodetud koguste mahtude kohta kogutud informatsioonid jne. Kuid tihti on lahendamata tootmisliinist saadava info edastamise meetodid. Vanematel tööpinkidel, üksikut operatsiooni tegevatel ja paljudel mitmes töökohas tehtavatel protsessidel ei ole olemas tehnilisi võimalusi informatsiooni väljastamiseks. Selline olukord on lahendatav lisaseadmetega.

Seadmete valik on piisavalt suur ja valik tuleb teha arvestades mitmeid asjaolusi, alates tehnilisest lahendusest, lõpetades hinna ja kasutusmugavusega.

Turul on pakkumisel palju mikroprotsessortehnikat, mis on arenendatud väga mitmekülseks ja on võimalik valida just vajalike omadustega seade. Sellised seadmed on välja arenenud õppeotstarbel või robootika suunalisel tegevusel, kuid on aja jooksul saanud sedavõrd töökindlaks ja kasutusõbralikuks, et neid on hakatud kasutama mitmesugustes nutikates juhtimissüsteemides. Mõned toote perekonnad on väga tuntud ja nende põhjal on üles ehitatud tööstuslikuks otstarbeks kasutatavad komplektid.

Laialt on levinud väga väikeste mõõtmetega arendusplaatide seeria “Arduino”. Need kasutavad pingeid 3,3V ja 5V. Neil on olemas võime lugeda nii analoogsignaali kui ka digitaalset signaali, Nendes seadmetes kasutatakse ATmega-tüüpi mikroprotsessoried, mis on piisavalt vastupidavad ja töökindlad ka tööstuses esinevatel tingimustel. Programmeerimise kordsus on 10000 ja mõnel mälutüübil enamgi. Seadmed on leidnud väga laialdast kasutamist ja hästi varustatud väga põhjalike tehniliste kirjeldustega.

Spetsiaalselt välja töötatud ja kergelt ühendatavaid lisaseadmeid kasutades on võimalik kasutada ka andmemahukamaid edastuskanaleid, näiteks RS485. See on telekommunikatsiooni süsteemidest kasutusele võetud standard [2]. Lisaks on võimalised kasutama veel ka tuntud väljundkanalite võimalusi nagu WiFi, GSM, CAN,

GPS. On arendatud eraldi tooted, mis põhinevad samal tehnikal ja mõeldud professionaalseks kasutamiseks. [3]

Viimastel aastatel on hakanud levima rohkem infotehnoloogia ja arvutitehnikana tuntud seeria “Raspberry”. Need seadmed on oma väikeste mõõtmete poolest ja suurte võimaluste poolest laialdaselt kasutatavad just juhtimisotstarbelise arvutustehnikana, kuna neil on olemas üldotstarbelised sisend-väljundsignaalide ühendusliinid. Perekonna Raspberry kasutusvõimaluste valik on väga lai, alates mängimisest kuni kompaktse tööstuslahendusteni. Seadmed on varustatud erinevate ühendupistikutega alates tavalisest 40 kohalisest pistikühendusest kuni spetsiaalpistikuteni kaamera ja ekraani tarbeks. Seadmed töötavad madal pingel 3,3 V ja 5 V. Protsessori kiirused on kuni 1,4 Ghz ja kuni 4 GB RAM (Random-access memory) mälumahuga. Lisadena on lugematult palju võimalusi kasutada arendusplaate ja lisaskeeme.[4] Avatud platvormiga tarkvaras on võimalus kasutada Raspberryt seadmete juhtimisel andmete edastusega, kuni severi võimalusteni. Sinna vahele mahub arvutuse, graafilisi ja internetipõhiseid programme, mida on otseselt kohe võimalik kasutada. Avarad võimalused on ise arendada oma tarkvara, alates programmi kirjutamisest kuni visuaalsete efektideni.

Välisühendustest on kasutusel USB, HDMI, Ethernet RJ45. Kõikide võimaluste poolest on Raspberry väikese arvutina leidnud palju rakendust just erilahenduste arendamisel. On välja kujunenud väga lai kasutajaskond, kes oma teadmisi ja teostatud projekte jagavad Interneti keskkonnas.

Väga laias seadmete valikus on silma jäänud ka väikearvuti “Odroid”. See väikearvutite seeria on sarnaselt Raspberryle rohkem arvuti, millel on olemas lisavõimalused juhtmekaupast pistikühendamiseks. Välisühendused on sarnased tavaarvutile, USB, HDMI, Ethernet RJ45. Ka see mudelite seeria on väga kiireks arendatud ja kuna kiiruste ja võimekuste suurenemisega kaasneb plaadi detailide kuumenemine, siis on kasutusele võetud jahutusseadmetena ventilaator ja jahutusribid. Infosalvestina on kasutusel kas eMMC (embedded Multi-Media Controller) või SD kaart. Need infokandjad ei ole kasutusel samaaegselt. Tuleb valida kasutamiseks üks või teine. Odroidi seeria uuemad mudelid kasutavad protsessori kiirust kuni 1,9Ghz ja RAM-mälu mahtu kuni 4GB. Eriliselt on arendatud meedia töötlust ja esitluse võimekust. [5]

## VÕRDLU JA VALIK

Tootmiseseadmetelt info kogumiseks eelpool kirjeldatud lisaseadmete võrdlemisel selgitame välja milliseks otstarbeks on seade parim, arvestades tema häid omadusi.

Arduino on järgnevast kahest veidi erinev. Arduinodel on väga head andmete lugemise omadused ja on olemas salvestamise võimalus välisele seadmele. Lisaseadmete kasutamisel on võimalik andmeid ka edastada. Välisseadmete ühendamiseks on võimalik kasutada ühejuhtmeliste pistikühendustega koostatud sidekanalit. Arduinode kasutamisel saab abi väga rohkearvuliselt arendajate

suhtlusvõrgustikult. Võimalik on leida juhendeid, õpetusi ja valmis programme, mis on kas täpselt vastavad vajadustele või tuleb vajalik tarkvara mitmest kokku kombineerida. Arduinod on väga sobilikud andmete pidevaks lugemiseks ja salvestamiseks. Seade ise on arendajatele mitmekülgselt katsetustega tõestanud suurepärase vastupidavust ja sobivust.

Raspberry ja Odroid on Arduinost sellevõrra erinev, et Raspberrysse ja Odroidi on sisse ehitatud interneti kasutamise võimalused, koos ekraani ja muude meedia-välunditega. Suureks erinevuseks on taktkiirused, mis ületavad Arduinot kümnetes kordades.

Need mudelid on juba arvutiga võrdväärsed seadmed. Raspberryle on paigaldatud Linuxipõhine operatsioonisüsteem. Valida on võimalik mitme variandi vahel. Tavaliselt on selleks Raspbian. See süsteem võimaldab kasutada alamprogramme ja kujundada seade enda soovidele vastavate programmidega töötama. Väliseks ühenduseks on seadmel eelpool nimetatud pordid. Infosalvestina saab kasutada SD kaarti, millel asub ka seadme operatsioonisüsteem. Lisaks on võimalik ühendada väliseid mäluandjaid ja seade on ehitatud serverina töötamise võimekusega. Lisaseadmetena on pakkumisel hulgaliselt eriotstarbelisi, otse plaadiga kokku sobivaid arendusskeeme. Võimalik on Raspberry soetada ka juba ekraaniga kokku ehitatuna ja kohe kasutusele võetatava arvutina.

Samuti nagu Arduinol on ka Raspberril väga lai arendajate seltskond, kes internetis on moodustanud oma suhtluskeskkonnad ja jagatakse valmis tehtud programme, seadmete tutvustusi, õpetusi ja väga detailselt kirjeldatud arendusi.

Odroid tüüpi väikearvuti on oma tootjate poolt mõeldud küll igakülgselt arendusel kasutamiseks, kuid eraldi on arendatud väga tugevalt meedia suunaline kasutamine. Plaadil on olemas eelpool loetletud välise seadmete ühendamise pistikud. Operatsioonisüsteemiks on kas Linuxi- või Androidipõhised rakendused. Samuti on platvorm avatud arendajate soovidele, kujundada töökeskkond valitud programmidega. Võimalik on kasutada väliseid andmekandjaid.

Sarnaselt eelpool toodud seadmete kasutajatele on välja kujunenud arendajate grupid ja suhtluskeskkonnad. Lisaseadmetena on osaliselt sobivad Raspberryl kasutatavad arendusmoodulid. Eraldi arendusi ei ole niipalju leida kui seda on "Raspberry" kasutajatel. Andmetele tuginedes on Odroidi omadused kordades paremad Raspberryst. Protsessori kiirused on kõrgemad. Saab kasutada ka kiiremat tüüpi mäluandjat eMMC. [6]

## JÄRELDUSED

Vajadusest lähtuvalt on võimalik valida paljude seadmete vahel. Valik on siis kerge teha, kui on teada kindel soov, mida on vaja mõõta, milliseid andmeid lugeda, kuidas edastada, kuhu salvestada ja lõpuks ka kuidas esitleda. Seadmeid on väga mitmete omadustega võrreldavaid ja omaduste põhiselt väga ligilähedasi. Selles artiklis

vaatlesime ainult kolme seadet, aga nendes kolmes seerias on seadmeid kümneid ja konkureerivaid tootjaid on samuti kümneid. Valik tundub suur. Täpselt sobiva seadme leidmiseks on vajadus võtta aega ja tutvuda ning otsida sobivat. Esialgselt isegi ei pruugi leida täpselt sobivat ja siis on võimalus valida võimsam või rohkemate võimalustega.

Mikroprotsessorite pakkumiste maailmas mõnda aega seadmete valikuga tutvudes ja sobivat otsides, on ka võimalik üllatuda, leides erinevate sedmete turustajate juurest sobilikum seade. Kui seda siis hakata otsima oma võimalike tarnijate ringkonnast, siis on ka see nende pakkumisest võimalik leida ja endale soetada.

Näitena toon välja olukorra, kus on vajadus kasutada informatsiooni saamiseks andurit, mis võimaldab andurile edastada sobival ajal mõõtmise käsk ja siis saada vastus. Suhtlemiseks on vajadus kasutada RS485 standardile põhinevat ühendust ja kasutusel on korraga kaks andurit. Info on vaja töödelda ja salvestada, võimalusel esitleda sisevõrgus kättesaadavalt ülevaatliku graafiku kujul.

Esialgselt valiku põhjal jääb välja Arduino, kuna omab küll võimalused, aga skeem tuleks kokku panna väga mitmest elemendist. Odroidi ja Raspberry vahel valides osutus valituks Raspberry. Põhjuseid selleks on mitu. Kuna endal kogemusi napib ja otseselt sarnast projekti keegi teinud ei ole, siis Raspberry arendajaid on rohkem ja variante leida sobiv lahendus on kordades suurem kui Odroidiga töötades. Odroid on väga hea ja kiire seade meedia ja graafikaga töötades, aga selles projektis see ei ole eriti oluline. Valituks osutus Raspberry. RS 485 kanali loomiseks on ka rohkem kui üks võimalus, alates ühejuhtmelisest klemmühendusest kuni kompaktse USB pordiga ühenduseni. Lõpuks selgus võimalus leida Raspberryle sobiv lisaplaad kahe RS485 ühendusega, just nagu projektis on vaja. Tarnija on oma kodulehel ka välja pakkunud sobiva programmi selle skeemi kasutamiseks. Lisaks jääb ära eraldi serveri loomine, kuna Raspberril on olemas sisse programmeeritud server.

Kokkuvõtteks saab öelda, et info kättesaamine tööstusseadmetest on võimalik piisavalt hästi turult kättesaadavate seadmetega. Muidugi on siinjuures vajadus tunda mikroprotsessortechnikat ja programmeerimiskeelt mille keskkonnas koostatud programmiga seadmed omavahel tööle panna sobiliku tulemuse esitamiseks.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] J. Riives, "Digitaliseerimise teekaart koostamine ja kasutamine" Seminar. Viljandi 13.03.2019
- [2] Incorporating Radio-Electronics.com. Electronicsnotes."RS485-an introduction,"[Online]. Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/serial-data-communications/rs485-introduction-basics.php> . [Accessed 28. 02. 2020].
- [3] Arduino Products [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products> [Accessed 28. 02. 2020]
- [4] Raspberry Pi 4 [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/> [Accessed 28. 02. 2020]

- [5] Hardkernel products [Online]. Available: <https://www.hardkernel.com/product/>  
[Accessed 28. 02. 2020]
- [6] How Does Raspberry Pi 4 Compare to Other SBCs? Article [Online]. Available:  
<https://maker.pro/raspberry-pi/tutorial/how-does-raspberry-pi-4-compare-to-other-sbcs>.  
[Accessed 01. 03. 2020].

## Temperatuuride mõõtmine Arduino Uno plaadiga

H. Turja

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

**Abstract.** The aim of the report is to find out heating load of the selected household. For that, it is necessary to measure four different temperatures and inflow and outflow of the heating circuit. To measure these for different temperatures was programmed and completed Arduino Uno development board. With these sensors was measured outdoor temperature, indoor temperature, inflow and outflow temperature of the kettle. Temperatures are saved to SD card after every 30 minutes. Circulation pump power supply was measured with installed Sonoff energy meter. According to collected data was calculated energy consumption of the selected household.

**Keywords:** Household, development board, energy consumption

### SISSEJUHATUS

Hoonete energiatõhusus kirjeldab summaarset energiakasutust. Projekteeritavatele hoonetele on määratud vastavalt Eesti Vabariigi valitsuse määrusele nr 68 miinimumnõuded erinevat tüüpi hoonetele. Väikeelamutes on miinimum nõuete järgi energiatõhususarv  $160 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Energiatõhususarv kujutab endast hoone komplektset energiakasutust sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks ja hoone kütmiseks. See arvutatakse hoone köetava pinna ruutmeetri kohta[1] Eesti maapiirkondades leidub veel mitmeid traditsioonilisi taluhooneid, mis ei vasta valitsuse poolt määratud miinimumnõuetele. Tänapäeval on hooneid kaasajastatud ja nende küttesüsteemid on aastatega läbi teinud mitmeid muudatusi. Korstnaga varustatud pliidad ja ahjud on asendunud ühtse katlasüsteemiga, millega on ühendatud küttekontuur kas radiaatoritesse või põrandaküttesse. Vana talumaja soetamisel puudub ülevaade hoone ehituslikust poolest ja küttevajadusest. [2]

Küttelehendust valides on erinevad võimalused: pellet- ehk graanulküte, gaasiküte, õliküte, õhk-vesi soojus, elektriküte, maaküte, puuküte jne. Igal lahendusel on omad eelised ja puudused. Paljud kütteviisid on mugavad aga väga kallid. Paljud küttemetodid vana taluhoone puhul langevad välja kuna puuduvad vastavate võrkude olemas olu kaugküttele. [3]

Paljudel juhtudel on soetavas hoones olemas juba ehitatud lahendus, millel puudub automaatika. Sellistel juhtudel küttevajaduse välja selgitamiseks on olemas turul pakutavad valmislahendused, mis tagavad sisetemperatuuri hoidmise soovitud suurusel ja energia kokkuhoidu vältides liigkütmist. Taolised lahenduste paigaldamine olemasolevale küttesüsteemile on sageli liigselt kulukas ja vajab suuri investeeringuid. Teise lahendusena saab välja selgitada vastava hoone küttevajaduse paigaldades soojusarvestid. Nende eesmärk on energiatarbimise mõõtmine küttesüsteemides [4]. Arvestid koosnevad vooluhulgaandurist, Pt1000 temperatuurianduritest ja

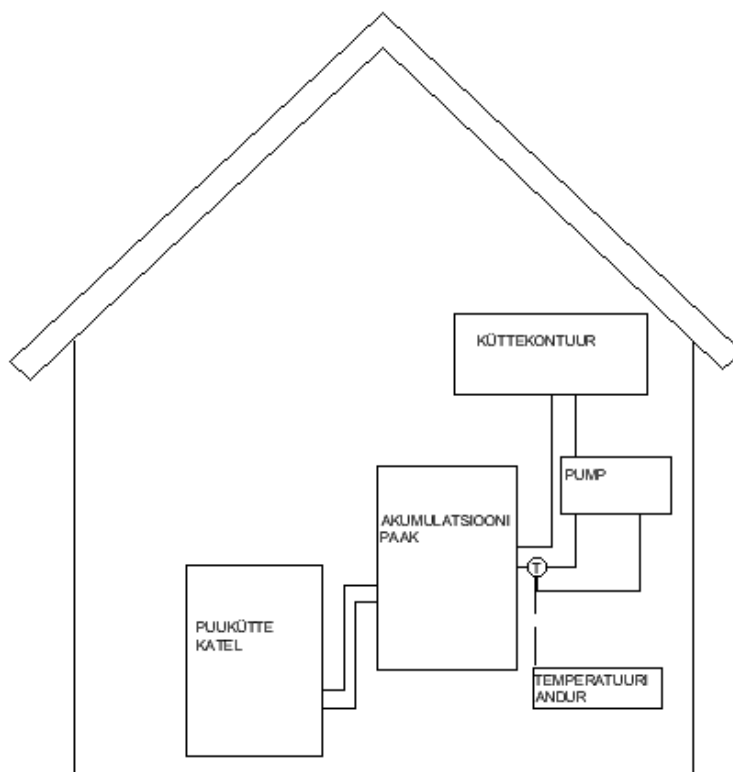
kalkulaatorist, mis arvutavad vooluhulga energiat [4]. Taoliste arvestite hind algab 150-st eurost ja võib küündida palju kõrgemale.

Odavam võimalusena on taoline mõõtmissüsteem ise koostada. Selleks peab kindlaks tegema akupaagist läbi voolanud energia hulga. Energia hulga määramiseks saab kasutada Arduino seadmete laia valikut ja võimalusi. Vastavate anduritega on võimalus mõõta toru välispinna temperatuuri erinevusi siseneva ja väljuva temperatuuri pealt. Mõõtmiste tulemusena saab arvutada, teades voolu hulka, salvestatud energia.

Antud uurimuse eesmärk on välja arvutada juba olemasoleva küttesüsteemiga vana taluhoone küttekoormus.

## MATERJAL JA METOODIKA

Käesoleva artikli uurimisobjektiks on olemasoleva küttesüsteemiga vana taluhoone. Taluhoone köetava pinna suurus on 108 m<sup>2</sup>. Hoones paikneva küttesüsteemi tüüpskeem on toodud joonisel 1. Hoones on puuküttekatel, mille taha on ühendatud 150 l akumulatsiooni paak. Hoone ruume köetakse vesipõrandaküttega. Põrandaküttesse pumbatakse ringluspumbaga soe vesi kui see on saavutanud paagis teatava temperatuuri.

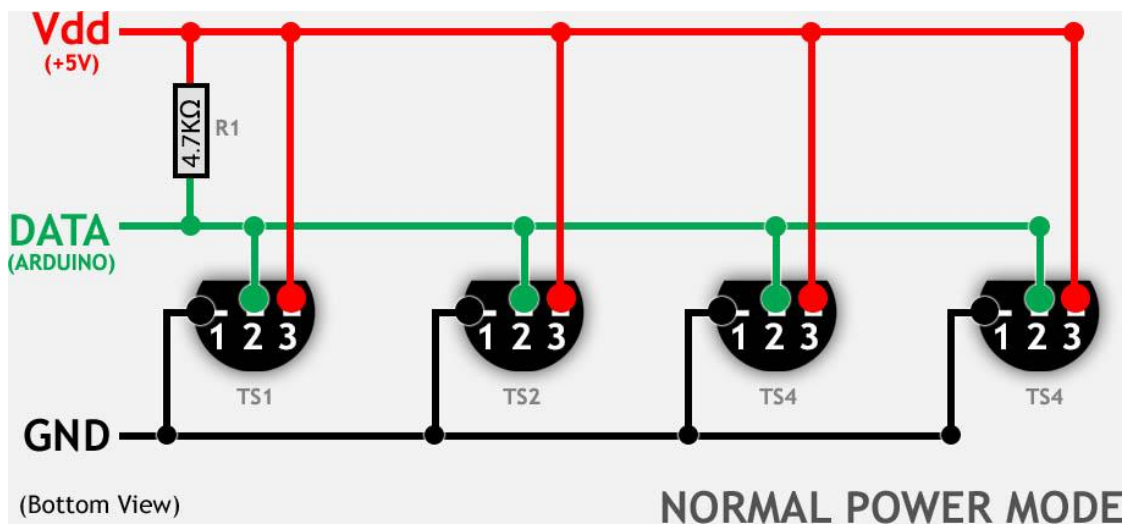


**Joonis 1.** Olemasoleva küttesüsteemi skeemiline kujutis



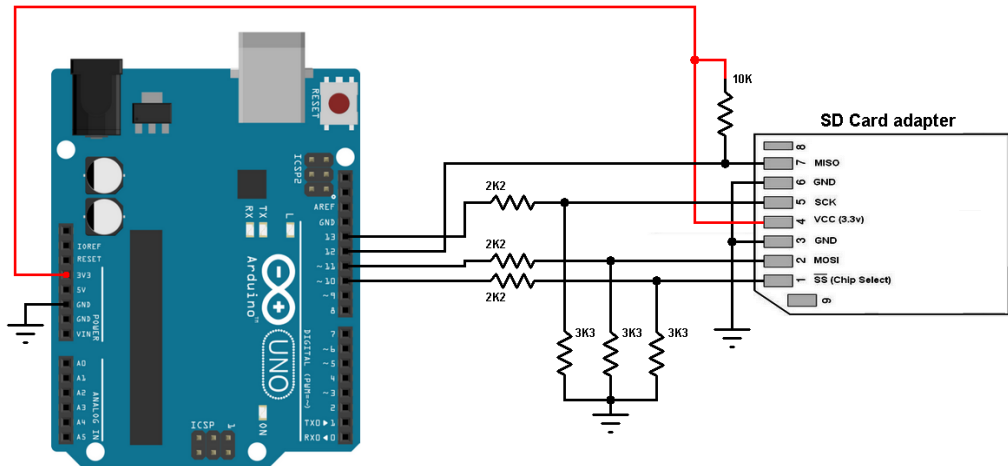
Antud süsteemi küttekoormuse välja selgitamiseks on vaja teada paagist väljuva vee kogust ja temperatuuri ning paaki sisenevat temperatuuri. Lisaks on vaja selgeks teha väline ja eluruumide temperatuur. Antud info saamiseks valiti Arduino UNO arendusplaat, mis on koostatud mikrokontrolleri ATmega328P baasil. Arendusplaadil on 14 diskreetset sisendit/väljundit ning kuus analoogväljundit. Plaadil on programmeerimiseks USB liides. [5]

Temperatuurinäitude saamiseks projekteeritakse arendusplaadile nelja temperatuurianduri ühendamise võimalus (vt. joonis 2). Välise temperatuuri näidu saamiseks kasutatakse hermeetilise korpusega andurit DS18B20 ja ülejäänud kolme temperatuuri määramiseks DS1820 andurit. DS18B20 väljastab, erinevalt teistest anduritest, informatsiooni digitaalse koodina.



Joonis 2. DS1820 temperatuuriandurite ühendusskeem [6]

Anduri andmete salvestamiseks on plaadile programmeeritud SD kaardi adapter, mis võimaldab mugavalt kasutada MicroSD mälukaarti. Joonisel 3 on kujutatud SD kaardi adapteri ühendusskeemi, kus on kasutatud kolme 1,8 kΩ ja kolme 3,3 kΩ takistit. Antud adapter võimaldab kasutada erineva mahuga microSD kaarte.



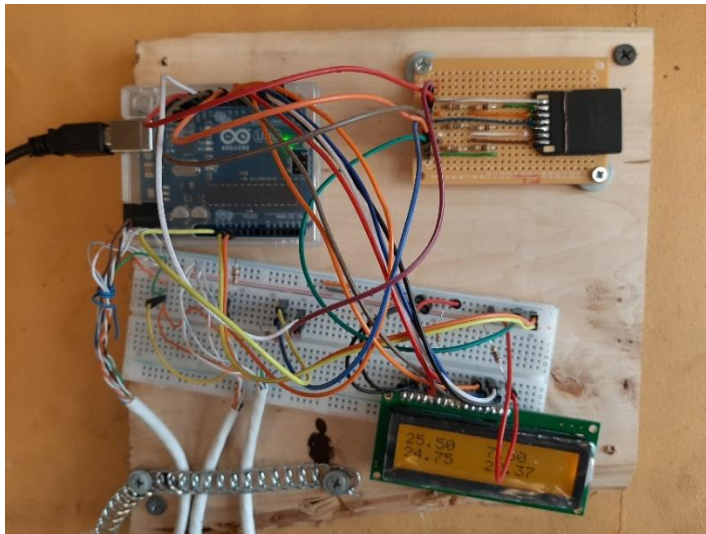
Joonis 3. SD kaardi adapter ühenduskeem [7]

Näitude vahepealseks jälgimiseks on plaadile programmeeritud LCD ekraan. Ekraani eesmärk on näidata nelja erinevat temperatuuri ja läbi viia visuaalset kontrolli temperatuuri andurite töökorras olemisest. Plaat töötab 3.3 V pingega. Plaadile on programmeeritud pingeregulaator, mis võimaldab kasutada 3.3-12 V pingega toiteallikat. [5] Arendusplaadi programmeerimiseks kasutatakse tarkvara Arduino software (IDE).

Ringluspumbaks on Grundfos Alpha 2L 25-60 180 [8] pumpasid, millel saab reguleerida pumpamiskiiruse kindla astme peale. Energiatarbimise hulga pealt saab arvutada kontuuri pumbatud vee hulka. Energia tarbimise määramiseks paigaldati pumba toite vahele *Sonoff Basic wifi smart switch POW R2* elektriarvesti [9].

## TULEMUSED JA ARUTELU

Töö tulemusena valmis joonisel 5 olev arendusplaat. Seade on võimeline mõõtma samaaegselt nelja erinevat temperatuuri väärtusi ja salvestama need SD mälukaartile. Seade kuvab temperatuure LCD ekraanil, kus ta uuendab näite iga poole tunni tagant.



Joonis 4. Valmistatud arendusplaat

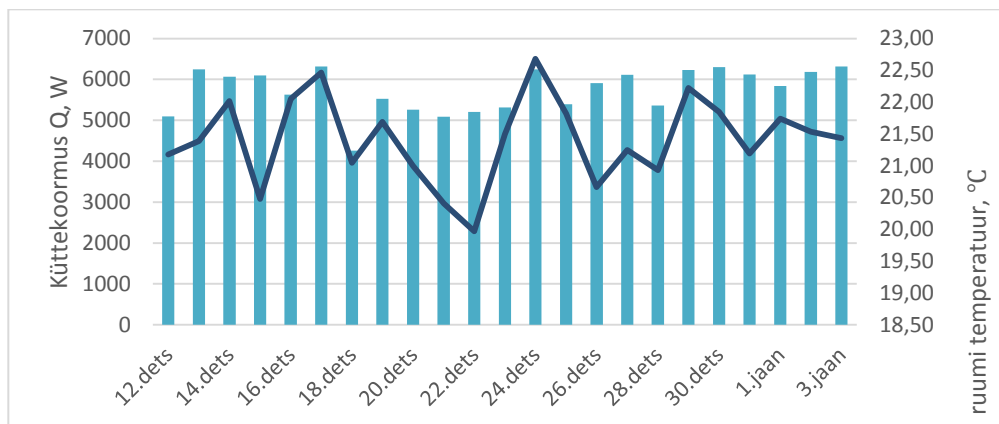
Seadmesse on paigaldatud 8GB mahuga mälukaart ja andmeid salvestati kahekuulise perioodi vältel. Antud perioodi jooksul väga suuri temperatuuri kõikumisi ei toimunud. Väline temperatuur jäi vahemikku kahest külmakraadist kuni seitsme pluss kraadini. Seega temperatuuri kõikumine valitud perioodil oli kuni 10 °C.

Küttekoormuse arvutamiseks saame kasutada valemit [10]:

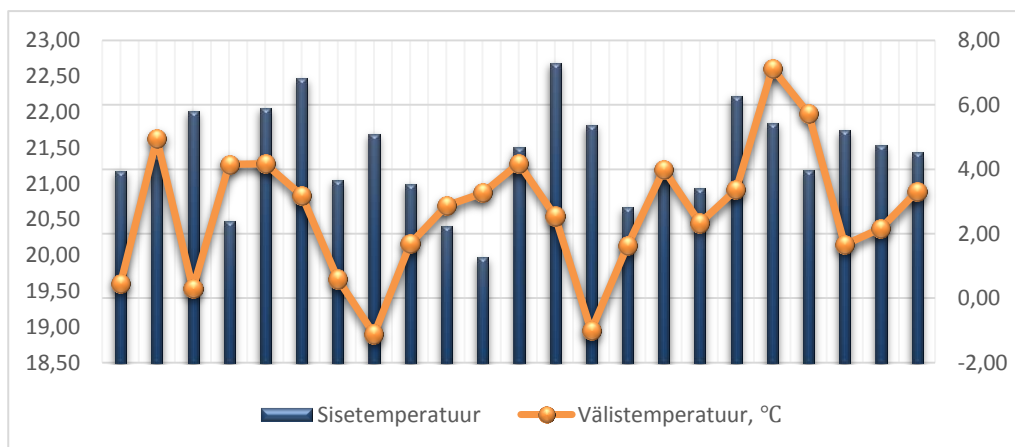
$$Q = \frac{V \cdot c_v \cdot \Delta\vartheta \cdot \rho}{3600} = \frac{0,02 \cdot 4196 \cdot 242,52 \cdot 970}{3600} = 5607 \text{ W}$$

kus  $V$  on vooluhulk, m<sup>3</sup>/h;  
 $c_v$  - vee erisoojus, 4196 J/(kg·K);  
 $\Delta\vartheta$  - temperatuurilang torustikus, K;  
 $\rho$  - vee tihedus, 970 kg/m<sup>3</sup>.

Mõõtmisi tehti vahemikus 12.12.2019 kuni 03.01.2020 ja arvutati antud perioodi küttevõimsused.



Joonis 5. Arvutatud küttevõimsused mõõteperioodi jooksul



Joonis 6. Mõõteperioodi jooksul mõõdetud sise- ja välistemperatuurid

Joonisel 5 on kujutatud tulpdiagrammil kütteperioodil arvutatud küttevõimsused ja joondigrammil siseruumi temperatuur vastavatel kuupäevadel. Joonisel 6 on toodud ülevaade sise- ja välistemperatuuri kohta mõõteperioodi jooksul.

## JÄRELDUSED

Hoone küttekoormuse arvutamiseks formuleeriti vajalikud mõõtmisandmed, millele vastavalt koostati arendusplaat temperatuuride mõõtmiseks ja paigaldati elektriarvesti ringluspumba energiatarbe teada saamiseks. Seadme töös esinesid üksikud vead ja arendusplaadile tuli teha taaskäivitusi. Mõõteperioodi jooksul salvestas plaat kõik vajaliku info ette programmeeritud ajavahemiku jooksul. Andmete põhjal tehti arvutustulemustega selgeks uuritava taluhoone küttekoormus sõltuvalt välistemperatuurist.

Edaspidises arendustöös, plaadi töökindluse tagamiseks, on vajalik ehitada seadet ümbritsev korpus. Enamuse vigade esinemisel oli põhjuseks ruumis esinev tolm, mis põhjustas ühendusjuhtmete halva ühenduse. Vajalike andmete töötlemise lihtsustamiseks saab lisada arendusplaadile veevooluandurid, mis mõõdavad küttekontuuridesse sisenevat ja tagastuvat veehulka.

### KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] “ENERGIATÕHUSUSE JUHENDMATERJAL JA METOODIKA,” [Online]. Available: <https://www.rkas.ee/sites/default/files/public-uploaded-files/juhendid/Juhendmaterjal%202017%2010.pdf>. [Accessed 04 Aprill 2020].
- [2] T.Kalamees, Ü.Alev, E.Arumägi, S.Ilumets, A.Just and U.Kallavus, Maaelamute sisekliima, ehitusfüüsika ja energiasääst I, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2011.
- [3] “Veskimõldre,” [Online]. Available: <https://www.xn--veskimldre-jcb.ee/millist-kuttesusteemi-eramajale-valida/>. [Accessed 04 Aprill 2020].
- [4] Danfoss, “Eenergiaarvestid SonoSelect 10 ja SonoSafe10,” [Online]. Available: [file:///C:/Users/Helina/Downloads/SonoSelect-Safe\\_VDIGH626.pdf](file:///C:/Users/Helina/Downloads/SonoSelect-Safe_VDIGH626.pdf). [Accessed 04 Aprill 2020].
- [5] “Arduino koduleht,” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. [Accessed 30 Märts 2020].
- [6] [Online]. Available: <https://www.tweaking4all.com/hardware/arduino/arduino-ads18b20-temperature-sensor/>. [Accessed 21 Märts 2020].
- [7] [Online]. Available: <https://simple-circuit.com/arduino-sd-card-interfacing-example/>. [Accessed 21 Märts 2020].
- [8] Grundfos, “Grundfos Alpha2 L Paigaldus- ja kasutusjuhend,” 2012.
- [9] [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Accuracy-Monitor-Monitoring-Overload-Protection/dp/B07L3NG9T3>. [Accessed 21 Märts 2020].
- [10] T.Kõiv and A.Rant, Hoonete küte, Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2013.

## Nanohübriidide poolt genereeritud voolu mõõtmine

T. Viidalepp<sup>1</sup>, A. Allik<sup>1</sup>, E. Rauwel<sup>2</sup>, P. Rauwel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool

<sup>2</sup>Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

**Abstract.** Previous studies have demonstrated photocurrent generation abilities of hafnium dioxide and carbon nanotube nanohybrids. Therefore, these nanohybrids have potential for energy harvesting applications and they should be studied further. For this, a method is needed to measure the photocurrent generated by the nanohybrids under different lighting conditions and sample amounts. The expected current is in the nanoampere range, which is not measurable by common amperemeters, so a method is required to measure these currents. This research paper investigates the possibility for measuring nanoamperes with a common multimeter. The aim of the study is to find the best compromise between complexity and feasibility for the measurement of nanohybrids. As a solution, a simple measuring circuit is proposed, where the voltage drop on a resistor is amplified with an operation amplifier and measured. Additionally, it is suggested to increase the power output of the sample, if possible, to increase the measurement accuracy.

**Keywords:** Nanohybrids, Photocurrent, Nanoamperes

### SISSEJUHATUS

Nanohübriidid on ained, kus materjalid on ühendatud nanomeetrites mõõdetavate osakeste või molekulaarsel tasemel loodud keemiliste sidemete abil. Ainet nimetatakse nanotehnoloogiliseks, kui vähemalt üks selle dimensioon on väiksem kui 100 nm [1]. Tavalistes komposiitmaterjalides on ained segatud makroskoopilisel tasemel, mida saab enamasti teostada jahvatamise, purustamise, segamise, sulatamise jmt viisil. Sel viisil saadud komposiitmaterjalides on esindatud kõigi lisatud ainete omadused ja sellist segamist kasutatakse ühe aine omaduste parandamiseks teise aine lisamise teel. Nanomaterjalides võivad aga esineda uued omadused, mis puhtas aines puuduvad [2]. Süsiniku nanotorud (*carbon nanotubes*, CNT) on levinud nanomaterjal, millel on erinevaid omadusi sõltuvalt nende valmistusviisist [3]. Käesolevas olukorras kasutatakse neid hafniumdioksiidi osakeste sidumiseks ja nende elektrilaengute edasijuhtimiseks.

Eelmises uuringus [4] tuvastati hafniumdioksiidi ( $\text{HfO}_2$ ) ja CNT nanohübriidide võime tekitada fotovoolu UV või nähtava valgusega kiiritamise tulemusena. Sellest tuleneb põhjendatud vajadus edasi uurida neid nanohübriide, et välja selgitada nende potentsiaal energiatootmisel või muudel eesmärkidel kasutamiseks.

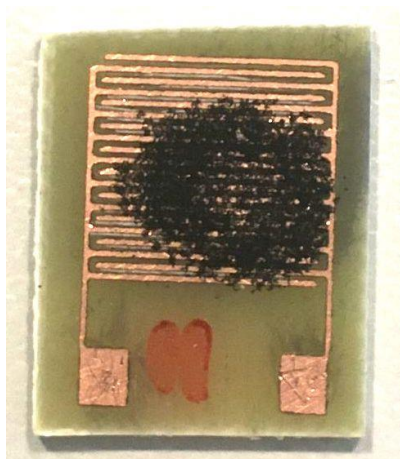
Varasemates magistritöödes 2015. ja 2016. aastal uuriti sama nanohübriidi sünteesimist ja omadusi [2, 3]. 2016. ja 2017. aasta artiklites tutvustati tsinkoksiidi ( $\text{ZnO}$ ) sünteesimist ja fotoluminestsentsilisi omadusi [4, 5] ning 2016. aastal  $\text{HfO}_2$  fotovoolu tekitamise võimekust [9]. 2019. aasta uuringus tutvustati väikese koguse  $\text{HfO}_2$  CNT nanohübriidide (umbes 1 mg) fotovoolu tootmise võime [4].

Selle töö eesmärk on leida parim mõõtmisviis piiratud ressursside puhul nanohübriidide valgusega kiiritamise tulemusel tekkinud pinge ja voolu mõõtmiseks.

Lahendamist vajav probleem antud juhul on see, et eeldatavasti on tekkiv vool nanoamprites ja käepäraste multimeetrite mõõtevahemik ei ulatu nii väikeste vooludeni, lõppedes sõltuvalt mudelist mikroamprite piirkonnas. Samuti segavad nanoamprite suurusjärgus tehtavaid mõõtmisi erinevad indutseerivad häireallikad, näiteks lähedal asuvad vooluallikad ja mõõdetavast voolust oluliselt tugevama vooluga juhtmed. Siiani on selliste mõõtmiste jaoks kasutatud Prantsusmaal, Grenoble'is asuva ülikooli laboratooriumi seadmeid. Piisava täpsusega mõõtmisviisi leidmisel saaks edasisi mõõtmisi arendustegevuse käigus teha kohapeal.

## MATERJAL JA METOODIKA

Uurimistöös kasutati proovimaterjalina  $\text{HfO}_2$  CNT nanohübriidmaterjali. 4 tilka materjali etanoolilahust tilgutati trükkplaadist söövitatud vasest kammelektroodile, suurusega  $15 \times 18$  mm ja lasti etanoolil aurustuda. Foto kasutatud kammelektroodist koos prooviga on joonisel 1. Proovi kiiritati UV valgusega lainepikkusel 365 nm. Proovi kontaktidelt mõõdeti multimeetriga mõõtetulemus enne valgusseadmega kiiritamist ja kiiritamise ajal.



Joonis 2. Kammelektrood ( $15 \times 18$  mm) nanohübriidi prooviga [autori foto]

Figure 1. Comb electrode ( $15 \times 18$  mm) with a sample of the nanohybrid [author's photo]

Mõõtmistel kasutati täppismultimeetrit Hameg HM8112-3, mille eraldusvõime on 1 nA [10]. Esimeste mõõtmiste käigus saadi erinevaid mõõtetulemusi 200 nA ümber, mis olid väga varieeruvad ja raske oli eristada valguskiirituse mõjul tekitatud voolu tekkivatest häiretest. Häirete vähendamiseks võeti kasutusele varjestatud ja maandatud juhtmed nii multimeetri küljes kui valgustusseadmes ning varjestati valgusti toiteplokk. Peale nende meetmete kasutuselevõttu tehtud mõõtmiste tulemusena mõõdeti tekitatud voolu tugevus koos häiretega 35 nA ja häirete tekitatud voolu tugevuseks 25 nA. Seega tuvastati nanohübriidi proovi tekitatud fotovool 7 nA suuruses.

Saadud tulemus jääb kasutatud täppismultimeetri eraldusvõime piirile. Tuleb arvestada ka mõõtemääramatusega, mis selles mõõtepiirkonnas on umbes 3 nA. Sellised voolud ei ole otsesel mõõtmisel tuvastatavad tavapärase multimeetriga. Kuna töö eesmärk on see vool sellise mõõteriistaga mõõdetavaks teha, tuleb mõõteskeemi

täiustada nii, et mõõdetav vool oleks mõõtevahemiku kahe kolmandiku juures. Mõõtevahendina, mille baasil proovimõõtmisi on plaanis teha, on kantav multimeeter HoldPeak HP-39C. Selle sisendtakistus on  $10\text{ M}\Omega$  ja eraldusvõime alalisvoolu mõõtmisel on  $1\text{ }\mu\text{A}$  [11].

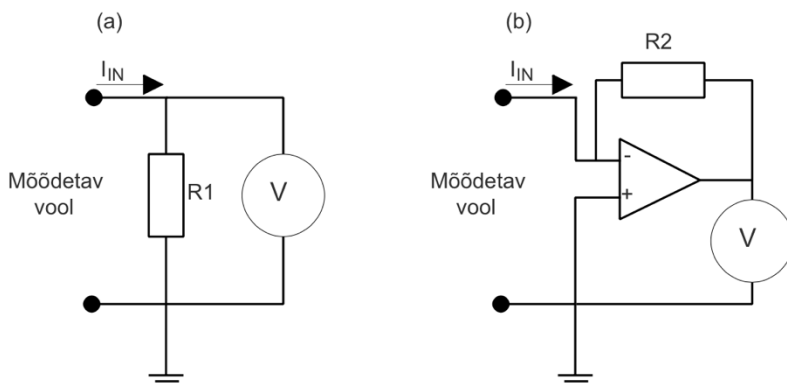
Multimeetri mõõtevahemiku sobivasse piirkonda toomiseks pakutakse kirjanduses kahte lahendust: 1) takisti lisamist mõõteahelasse ehk šuntimist ja 2) lisaks takistile ka lisatud operatsioonivõimendiga skeemi [7, 8, 9, 10]. Esimene neist on lihtne skeem, kus lisatakse mõõteahelasse takisti ja mõõdetakse sellel pingelangu ning saadud väärtusest arvutatakse voolutugevus. Nende lahenduste skeemid on ära toodud joonisel 2. Takisti takistus valitakse vastavalt ampermeetri sisendtakistusele ja mõõdetava voolu suurusele, suurusjärgus  $50\text{ k}\Omega\ldots 10\text{ M}\Omega$ , kuid see peab olema väiksem multimeetri takistusest. Mõõtetulemus saadakse oomi seaduse järgi arvutamise tulemusel [13]:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (1)$$

kus  $I$  on arvutatud mõõtetulemus amprites, A;

$U$  – mõõdetud pingelang voltides, V;

$R$  – takistus oomides,  $\Omega$ .



Joonis 3. Skeemid mõõtepiirkonna muutmiseks: a) takistiga (šundiga) b) operatsioonivõimendiga [12]

Figure 2. Schematics to change the measurement range: a) with a resistor (shunt), b) with a operational amplifier [12]

Mõõtevahendina, mille baasil proovimõõtmisi teha plaanis on, kasutatakse multimeetrit HoldPeak HP-39C. Selle sisendtakistus on  $10\text{ M}\Omega$  ja eraldusvõime alalisvoolu mõõtmisel on  $1\text{ }\mu\text{A}$  [11]. Sobilik takisti mõõtmisteks suurusjärgus kuni  $100\text{ nA}$  on  $10\text{ k}\Omega$ . Mõõteseadme sisendtakistuse suur erinevus mõõteahela takistusest põhjustab suure ebatäpsuse, mis võib olla kuni  $50\%$  [13]. Lisaks sellele on käesoleva mõõteobjekti puhul pinged väga madalad ja ainult šundiga mõõteskeemi puhul on ka pingelang liiga väike et seda mõõta. Täpsemate mõõtmistulemuste saamiseks tuleks kasutada operatsioonivõimendiga skeemi, mis tuleb koostada katsetuste käigus vastavalt mõõtevahendile ja mõõteahelale. Peale mõõteskeemi valmimist ja katsetamist



on tarvis see kalibreerida mõne teadaolevalt täpse mõõtevahendiga. Sellisel viisil võib saada peale kalibreerimist täpsuseks kuni 2 % [13].

## TULEMUSED JA ARUTELU

Olemasoleva mõõteskeemiga on õnnestunud mõõta nanohübriidide poolt UV-valguse käes tekitatud vool 7 nA üldise 28 nA mürafooni taustal. See mõõtmine on võimalik teostada täppismultimeetri mõõtevahemiku piiiril, kuid mitte tavapärasest multimeetrit kasutades.

Paremate mõõtmistulemuste saamiseks oleks kõige parem tõsta proovist saadava voolu tugevust. Otseselt materjali lisamisega seda teha ei saa, sest materjali on väheses koguses ja selle suuremale pinnale jaotamine tekitab vajaduse seda suuremat ala ühtlaselt valgustada, mis esitab uusi nõudmisi valgustusseadmele.

Et jääda väikese proovikoguse juurde, pakutakse välja kaks võimalikku lahendust: 1) lisada operatsioonivõimendiga mõõteskeem või 2) leida efektiivsemad elektroodid. Esimese variandi puhul tuuakse mõõteseadme mõõtevahemik multimeetrile mõõdetavasse piirkonda joonisel 2 näidatud skeemi abil, kuid väheneb mõõtetulemuse täpsus. Väikeste voolude mõõtmisel tuleb erilist tähelepanu pöörata häirete elimineerimisele. Veel parema tulemuse annaks mõlema meetme kasutamine.

## JÄRELDUSED

Mõõtepiirkonna nihutamine tavakasutaja multimeetrile kättesaadavasse piirkonda on võimalik, kuid toob kaasa mõõtetäpsuse vähenemise. Kui proovist saadavat voolu tõsta ei saa, siis tuleks kasutada operatsioonivõimendiga skeemi. See tuleb koostada vastavalt mõõteahelale ja mõõteseadmele. Hiljem neid komponente muuta ei saa ning peale valmimist tuleb süsteem kalibreerida. Sellele probleemile lahenduse leidmine võimaldab edaspidi teha vajalikke mõõtmisi kohapeal, paralleelselt nanomaterjalide arendamisega.

## TÄNUAVALDUSED

Autorid soovivad tänada projekti Tippikeskus "Emerging orders in quantum and nanomaterials" EQUITANT (TK134) rahalise toetuse eest.

## KIRJANDUS

- [1] M. Nanko, "Definitions and Categories of Hybrid Materials," *AZojomo*, vol. 6, 2009.
- [2] N. Savage, "Photonics: Trick of the light," *Nature*, vol. 495, no. 7440, pp. S8–S9, 2013.
- [3] "Applications of Carbon Nanotubes," *AZOnano.com*, 2018. [Online]. Available: <https://www azonano.com/article.aspx?ArticleID=4842>. [Accessed: 01-Apr-2020].
- [4] P. Rauwel, A. Galeckas, F. Ducroquet, and E. Rauwel, "Selective photocurrent generation in HfO<sub>2</sub> and carbon nanotube hybrid nanocomposites under Ultra-

- Violet and visible photoexcitations,” *Mater. Lett.*, vol. 246, pp. 45–48, 2019.
- [5] M. Salumaa, “Hybrid nanomaterials based on carbon nanotubes and metal oxide nanoparticles for photovoltaic applications,” 2015.
- [6] A. Aasna, “Hybrid nanomaterials based on carbon nanotubes and metal oxide nanoparticles for energy harvesting applications,” 2016.
- [7] P. Rauwel, M. Salumaa, A. Aasna, A. Galeckas, and E. Rauwel, “A Review of the Synthesis and Photoluminescence Properties of Hybrid ZnO and Carbon Nanomaterials,” *J. Nanomater.*, vol. 2016, 2016.
- [8] E. Rauwel, A. Galeckas, M. R. Soares, and P. Rauwel, “Influence of the Interface on the Photoluminescence Properties in ZnO Carbon-Based Nanohybrids,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 121, no. 27, pp. 14879–14887, 2017.
- [9] P. Rauwel, A. Galeckas, M. Salumaa, F. Ducroquet, and E. Rauwel, “Photocurrent generation in carbon nanotube/cubic-phase HfO<sub>2</sub> nanoparticle hybrid nanocomposites,” *Beilstein J. Nanotechnol.*, vol. 7, pp. 1075–1085, 2016.
- [10] H. Asmussen, *HM8112-3 6½-Digit Precision Multimeter Benutzerhandbuch*. HHAMEG Instruments GmbH, 2015.
- [11] “HP-39C Digital Multimeter,” *HoldPeak*. [Online]. Available: <https://holdpeak-store.com/hp-39c-digital-multimeter-auto-range-tester-ac-ac-6000-counts-true-rms-ncv-ohm-frequency-diode-transistor-tester-esr/>. [Accessed: 31-Mar-2020].
- [12] D. Ludington, “Tips for Measuring Small Currents,” *Circuit Cellar*, 2014. [Online]. Available: <https://circuitcellar.com/cc-blog/tips-for-measuring-small-currents/>. [Accessed: 30-Mar-2020].
- [13] L. Schreier, “How to Minimize Errors for Low-Current Measurements,” *NI News*, 2011. [Online]. Available: <http://www.ni.com/tutorial/5448/en/>. [Accessed: 30-Mar-2020].
- [14] R. Baddi, “Nano-Ampere Meter,” *Electronicsforu.com*, 2011. [Online]. Available: <https://www.electronicsforu.com/electronics-projects/nano-ampere-meter>. [Accessed: 30-Mar-2020].
- [15] R. D. A. A. Rajapaksha, N. A. N. Yahaya, M. N. A. Uda, and U. Hashim, “Development of portable electronic reader for picoampere detection for two-electrode based amperometric biosensor applications,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2045, no. December, pp. 1–7, 2018.

## ERGONOMIKA

### Hingamisteede ohutegurid põllumajanduses

Psychosocial work environment and health of special care supervisors

J. Udeküll<sup>1</sup>, Prof. E. Merisalu<sup>1</sup>

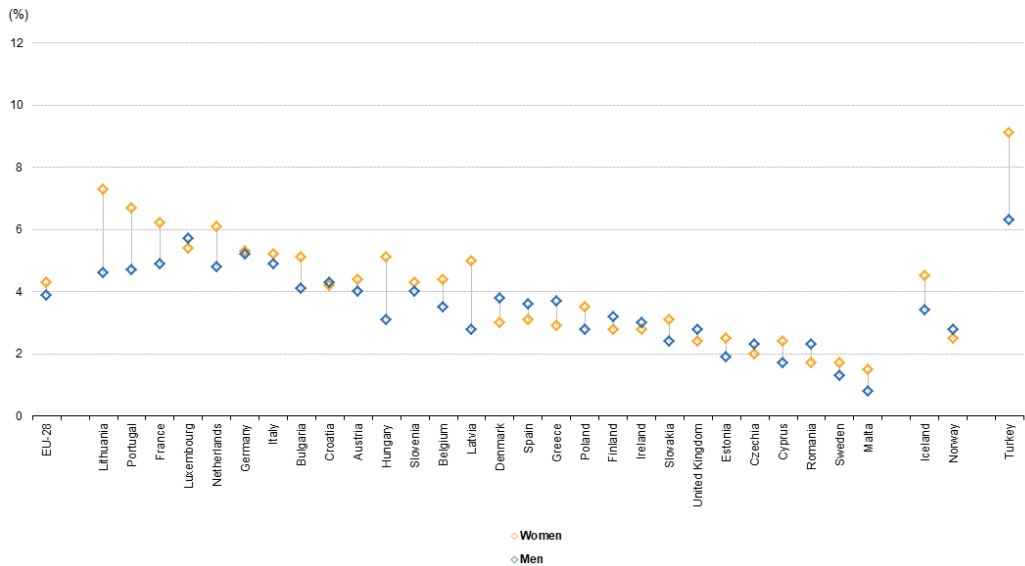
<sup>1</sup>Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogia õppetool

**Abstract.** At the beginning of the 20th century, farmers were believed to be healthier than the general population due to exposure to fresh countryside air and physical work as the source of their improved health. Today the agriculture sector has the highest rate of self-reported work related health problems compared to other economy sectors in Europe. The main health hazards are widely used pesticides in crop production and various bio-aerosols in work environment of animal husbandry. In addition to chemical compounds such as ammonia, carbon dioxide and many other chemicals, there are different biological hazards in farming such as microorganisms, fungi and allergenic dusts of animal feed, hair and excrements. However, it is necessary to use plant protection products and keep animals stock indoors, in order to increase production. But this results high risk to respiratory hazards, causing chronic work related pulmonary diseases among farm workers. It's very important to avoid direct exposure to respiratory hazards when using appropriate personal protective equipment. But use of personal protective equipment is often based on workers' health behaviour and beliefs, level of education and the availability of personal protective equipment.

**Keywords:** agriculture, respiratory hazards, work related disease.

## SISSEJUHATUS

Eurostat'i andmetel on põllumajanduse sektor kõrgeimal kohal tööga seotud terviseprobleemide poolest, ligikaudu kümnendikuga tööealistest inimestest [1]. Suremus hingamisteede haiguste tagajärjel on ELi riikides kolmas peamine surmapõhjus, moodustades 8% kõigist surmajuhtumitest 2013. aastal. 2013. aastal suri hingamisteede haigustesse 400'000 inimest, peamiselt kroonilise obstruktiivse kopsuhaiguse (KOK) ja kopsupõletiku, aga ka astma, gripi ja muud haiguste tõttu [2]. Eestis on elanikkonna hulgas diagnoositud veidi üle 2% inimestest alumiste hingamisteede kroonilisi haigusi, va astma (Joonis 4).



Joonis 4. Alumiste hingamisteede krooniliste haigustega (va astma) elanikkonna osakaal kogu elanikkonnast, 2014 (%) [3]

Figure 1. Share of population reporting they had lower respiratory diseases (excluding asthma), 2014 (%) [3]

Põllumajanduses puutuvad töötajad kokku paljude erinevate töökeskkonnaga seotud ohuteguritega. Hingamisteede ohutegurid võib laias laastus jagada kaheks – bioloogilised ja keemilised ohutegurid. Bioloogilised hingamisteede ohutegurid on peamiselt loomset või taimset päritolu. Keemilised ohutegurid võivad olla põllumajanduses kasutatavad väetised, pestitsiidid, kütused, lahustid, happed, heitgaasid. Hingamisteede ohutegurid võivad töötajat ohustada valdavalt pikaajalise kokkupuute tõttu, põhjustades erinevaid hingamisteede haigusi, allergilisi reaktsioone.

## KEEMILISED OHUTEGURID

Termin „pestitsiidid“ hõlmab endas paljusid keemilisi aineid, mida võib klassifitseerida nende sihtotstarbe järgi peamiselt kolme suuremasse rühma: 1) insektsitsiidid; 2) herbitsiidid; 3) fungitsiidid. Enamus insektsiide, kuid ka mõned fungitsiidid ja herbitsiidid on neurotoksilised ning mõned keemilised ained võivad avaldada genotoksilisi, reproduktiivtoksilisi ja muid toksilisi mõjusid eraldi ja sõltumata nende peamisest mõjust umbrohule, putukatele või seenhaigustele. [4]

Tööalane kokkupuude pestitsiididega toimub vahetult toote valmistamise, transpordi ja ladustamise ajal ning kasutaja poolt ettevalmistamise ja levitamise ajal, aga ka töödeldud põldude koristamise ja seadmete puhastamise ajal [5, 6]. Pestitsiidide sissehingamine toimub peamiselt fumigatsiooni, segu ettevalmistamise ja / või suletud keskkonnas (kasvuhoonetes ja tootmisettevõtetes) töötlemise ajal [4].

Loomakasvatushoonete siseõhk on saastunud orgaaniliste ainete lagunemisel tekkinud ühenditega nagu alkoholid, aldehüüdid, amiinid, orgaanilised klooriühendid ning

looma seedetraktis väävlü aminohapete ainevahetusprotsesside käigus tekkinud sulfiidi ja tiolid [7, 8]. Tavalisemad loomalauda keskkonna õhu komponendid on mikroobsed saasteained nagu bakterid, seened, viirused ja nende ainevahetussaadused [9]. Suletud ruumis võivad need akumulëerunud saasteained kujutada endast töötajatele tõsist terviseriski [10].

Enamus lenduvaid orgaanilisi ühendeid (LOÜ) on tekkinud värske või ladestatud loomasõnniku fermenteerimisprotsessi tulemusel või riknenud loomasõõda lagunemisel. Loomset päritolu orgaaniliste ainete lagunemisel tekkiv lenduvate kemikaalidega saastunud õhk võib avaldada inimesele toksilist, ärritavat või isegi kantserogeenset mõju. Need ained ärritavad silmade, nina, kurgu limaskesta ja nahka, võivad stimuleerida sensoorset närvisüsteemi, põhjustada neurokeemilisi muutusi ja mõjutada seetõttu mõjutada tervist [11]. Pikaajaline ekspositsioon LOÜ-dele võib kahjustada inimeste immuunsüsteemi funktsiooni ja viia erinevate haigestumisteni [9].

Seafarmi hoone õhu uuring näitas, et kõigi lenduvate orgaaniliste ühendite, sealhulgas tuvastamata LOÜ keskmine kontsentratsioon ületas  $2 \text{ mg/m}^3$ , sõltumata aastaajast; seetõttu oli see soovitatavast väärtusest kümme korda kõrgem. Uuritud õhk sisaldas koguni 17 kahjulikeks keemilisteks aineteks peetavaid gaasilisi ühendeid, millele on kehtestatud töökeskkonna kokkupuute piirväärtused ja maksimaalne lubatud kontsentratsioon (*Maximum Permissible Concentration* - MPC). Ehkki määratud ühendid tuvastati subtoksilistes kontsentratsioonides, võib vähemalt 2 ohtliku koostisosa esinemine sissehingatavas õhus põhjustada mitmesuguseid sümptomeid ja süvendada kahjulikku mõju inimorganismile. [9]

Gaaside, sealhulgas ammoniaagi ( $\text{NH}_3$ ) ja vesiniksulfiidi ( $\text{H}_2\text{S}$ ) eraldumisest tulenevad lõhnaemissioonid koos mõnede LOÜ-dega mõjutavad märkimisväärselt linnukasvatustöötajate keskkonda ja tervist. [13]

Sigade kasvatamise ja tootmisega tegelevad töötajad puutuvad tööalaselt kokku mitte ainult mikroobide kõrge kontsentratsiooni, vaid ka ärritavate ja odorogeensete lenduvate ühenditega. Seafarmi õhu gaasilise koostise hindamine näitas, et sõltumata nuumamise aastaajast võivad kindlaksmääratud saasteainete, eriti ammoniaagi, lenduvate gaasiliste orgaaniliste ühendite (metaanioli) ja üldtolmu sisaldus seakasvatuse töötajate tervisele kahjulikult mõjuda. Nimelt võivad analüüsitud hoones avastatud keemilised saasteained toimida koos esinevate bioloogiliste mõjuritega ja avaldada negatiivselt võimenduvat mõju töötajate tervisele. Seakasvatavate tervise ja ohutuse kaitse osas tuleb rõhutada seost töökeskkonna saastumise taseme ja kokkupuutuvate töötajate tervisemõju vahel. Seega tuleks rakendada tervise ennetamise strateegiate edendamisele suunatud tegevusi ning looma ohutu ja hügieenilise pidamise tõhusaid juhiseid. Seega on töökeskkonna hügieenil otsene mõju töötajate tervisele ja meeleolule ning seetõttu on see oluline aspekt tööohutuses. [9]

## BIOLOOGILISED OHUTEGURID

Töökeskonnas bioloogiliste ohutegurite allikad on tavaliselt loomsed ja taimsed saadused, tolm, loomade ja inimeste väljaheidete, kanalisatsioon ja jäätmed. Need tegurid kanduvad edasi õhutolmu, õhupiiskade, naha ja limaskestade kaudu, vektorite nagu puugid hammustamisel, harva allaneelamise kaudu. [14]

Loomakasvatusturruumide õhu mikrofloora koostis sõltub peamiselt hooldatavate loomade tervislikust seisundist, hügieenitingimustest, sööda ja allapanu kvaliteedist [9]. Hingamisteid ja selle kaudu inimese tervist ohustavad õhus leiduvad bioaerosoolid. Orgaanilistest tolmudest koosnev bioaerosool on põllumajandusettevõtete (PME) keskkonnas kõige tavalisem allergiat põhjustav ohutegur, mis võib farmitöötajatel põhjustada astmat, allergilist alveoliiti („farmeri kopsu“), allergilist nohu, limaskestade ärritust ja vähki [14]. Sissehingamisel kutsuvad bioaerosool koos mikroorganismidest pärinevate orgaaniliste ühenditega (endotoksiinid, peptidoglükaanid, glükaanid ja mükotoksiinid) esile kopsu immuunsussüsteemis allergiataolise toime, nn immunotoksilise reaktsiooni [9]. Selle tagajärjel ilmneb üsna tavaline haigus, mida nimetatakse orgaanilise tolmu toksiliseks sündroomiks (ODTS) [9].

Linnukasvatusturruumides on kindlaks tehtud, et õhus esinev bioaerosool koosneb peamiselt mikroorganismidest ja nende metaboliitide sisaldavast tolmust, patogeenidest, endotoksiinidest, kuid sisaldab ka  $\text{NH}_3$  ja süsinikdioksiidi ( $\text{CO}_2$ ), mis on tekkinud lindude väljaheidete lagunemise, lindude hingamise ja muude toimingute tagajärjel [15]. Loomakasvatusturruumides on uuringu tulemusel orgaanilise tolmu peamised allikad loomasõõr, väljaheidete ja looma naha tolm [9]. Molekulaartehnoloogia meetodi abil on kindlaks tehtud, et seafarmi õhu mikroobse saastumise peamiseks allikaks on seasõnnik [9]. Seafarmi õhu bioaerosoolis eraldatakse fermenteerivad bakterid, mis on iseloomulikud seedetrakti anaeroobsele keskkonnale [9].

PME töötajad puutuvad kokku paljude põllu hallituste rühmadega (peamiselt perekondade *Alternaria* ja *Cladosporium*) kuuluvate hallitusteatega, mis kasvavad taimedel ja võivad põllul töötavate põllumeeste seas põhjustada allergilisi haigusi, ning säilitus hallitusega, mis areneb toidul, näiteks hallitus söödal (*Aspergillus* ja *Penicillium*). Arvatakse, et 5–80% hingamisteede ülitundlikkusega allergilistest patsientidest on tundlikud hallitusteatega suhtes. Hallitusteatega sekundaarsete metaboliitide mükotoksiinide põhjustatud haigust nimetatakse mükotoksikoosiks. Mükotoksiinide toksiline mõju pärast nende söömist koos toiduga on hästi teada, kuid teaduskirjandus mainib ka nende kahjulikku mõju hingamiselundite kaudu. Aflatoksiinide sissehingamine on kantserogeenne ja ohratoksiinidega kokkupuude võib põhjustada neerukahjustusi. [14]

## KUTSEHAIGUSED JA TÖÖGA SEOTUD HAIGESTUMISED

Põllumajandustöötajate kutsehaigused on suures osas põhjustatud bioloogilistest teguritest [2]. Bioloogilised ohud on mikroorganismid ja makroorganismid, nende toodetud toksiidid ja allergeensed ained, millel on kahjulik mõju inimeste tervisele [3].

Inimese tervisele avaldatava mõju järgi võib bioloogilised töökeskkonna riskifaktorid jagada patogeenideks (bakterid, seened, viirused), allergeenideks (bakterid, seemed, taimede ja loomade osakesed), bioloogilisteks toksiinideks (endotoksiinid, mükotoksiinid, taimed) toksiinid, loomade mürgid), kantserogeenideks (aflatoksiin, puidutolm) ja nakkushaigusi (puugid, sääsed) kandvad bioloogilised vektorid. [14]

Kokkupuude orgaanilise tolmu erinevate komponentidega võib põhjustada ülitundlikkusreaktsiooni konkreetsete koostisosade suhtes, samuti paljude allergiliste haiguste, nagu allergiline alveoliit, bronhiaalastma, allergiline riniit või allergiline konjunktiviit ja dermatiit, arengut. Tolmu koostisosad võivad põhjustada ka immunotoksilise taustaga haiguste, näiteks „haige hoone sündroomi“, arengut. Välispõhjustest tingitud allergilise alveoliidi (põllumehe kopsuhaiguse) kliinilisi tunnuseid esineb kõige sagedamini hallitanud heinaga töötavate põllumeeste hulgas, mida esmaselt kirjeldas Campbell 1932. aastal. *Alveoliitis allerica* on interstitsiaalne põletikuline kopsuhaigus, mis on põhjustatud ülitundlikkusreaktsioonist sissehingataivate antigeenide suhtes. Allergilise alveoliidi kõige levinumad etioloogilised ained on mädanenud heinas esinevad antigeenid (termofiilsete aktinomütsütide eosed) ning lindude väljaheites ja loomade karusnahas sisalduvad valgud. Kaks kõige levinumat allergilise alveoliidi vormi on „farmeri kops“ ja „linnukasvataja kops“ [12]. Esiolgu on haigus asümptomaatiline, viies kopsukoe pöördumatute kahjustusteni, mil patsiendid kurdavad kõha ja hingeldust. [14]

Orgaanilise tolmu sissehingamisel võib ilmned haigus, mida nimetatakse orgaanilise tolmu toksiline sündroomiks (*Organic Dust Toxic Syndrome, ODTs*). ODTs on tavaline seakasvatuse töötajatel või teraviljatolmuga kokku puutuvatel inimestel. ODTs on haigusprotsess, mis hõlmab nii hingamisteid kui ka kopsualveole. Kliiniline kirjeldus on mittespetsiifiline ja sisaldab gripilaadseid sümptomeid, kõha ja mõnikord õhupuudust. [14]

Veel üks kahjulike tegurite bioloogilisest aktiivsusest põhjustatud haigus on bronhiaalastma. See on hingamisteede krooniline põletikuline haigus, mis põhineb hingamisteede hüperreaktsioonil ja põhjustab korduvaid hingeldusehooge. Astma võib orgaanilise tolmu kokkupuutumise tagajärjel ilmned erinevates keskkondades, nii põllumajanduses kui ka metsanduses, aga ka toiduainete tootmisel. Kõige tavalisemad allergeenid, mis võivad astmat põhjustada, on toatolmulest, loomade kõõm, linnud, heintaimede õietolm, puud, seente eosed ja muud orgaaniliste tolmu komponentid. Astma peamised sümptomid on kõha, õhupuudusehood või vilistav hingamine. Salakavala alguse tõttu diagnoositakse astma sageli ekslikult krooniliseks bronhiidiks ning seetõttu ei ravita seda piisavalt. [14]

Hingamisteede allergiaga patsientide uuringud näitasid, et 19,1% oli ülitundlik vähemalt ühe seente allergeeni suhtes ja 73,7% õietolmu suhtes [13]. Hallitusseened on üks teguritest, mis võivad allergia eelsoodumusega patsientidel haiguse protsessi algatada ja võivad allergistel inimestel põhjustada kliiniliste sümptomite ägenemist ja püsivust [14]. Suurim oht on perekonna *Penicillium*, *Aspergillus* ja *Alternaria* hallitusseened, mis võivad talupidajate seas põhjustada kutsealast astmat (14).

Epidemioloogilised uuringud on näidanud, et kodulinna farmide töötajatel esinevad ägedate ja krooniliste hingamisteede haiguste sümptomid keskkonnatingimuste ja loomapidamishoonetes eluslindude tõttu [15]. Pikaajalist kokkupuudet orgaanilise tolmu ja selle sissehingamist on seostatud hüpersensitiivsete kopsuhaiguste, näiteks allergilise alveoliidi ja muude ägedate hingamisteede sümptomite (köha, vilistav hingamine ja hingamisraskused) tekkega [15]. Kroonilised hingamisteede häired on levinud ka linnukasvatustöötajatel, kõige levinumad on ODDS (orgaanilise tolmu toksiline sündroom) ja astma [15]. Mõju töötaja tervisele sõltub kokkupuute tasemest ja sagedusest [16]. Teadaolevalt kannatab 20% linnukasvatustöötajate töötajatest ägedate hingamisteede häirete all, ilmnevad sellised sümptomid nagu vilistav hingamine, köha ja rögaeritus [17].

Keemilised ohutegurid põhjustavad ägedaid ja kroonilisi hingamisteede haigusi kodulindude tolmu kokkupuute tagajärjel, kokkupuutel sõnniku käitlemisel tekkivate toksiliste gaasidega naha- ja silmahaigusi, immuunhaigusi kokkupuutel puhastusvahenditega, pestitsiidide ja desinfektsioonivahenditega. Lisaks on lenduvate orgaaniliste ühendite sisaldus tuvastatud ka linnukasvatustöötajate vereproovides [18]. Kodulindude või muude kariloomade kõrge kontsentratsiooniga kinniseid piirkondi on seostatud sageli esinevate lõhnaäiretega, mida on seostatud tervisenähtudega, sealhulgas peavalu, silmade, nina ja kurgu ärritus ning uimasus [19].

Kui varem arvati, et krooniline kopsuhaigus on seotud vaid suitsetamisega, siis viimastel kümnenditel on hakatud seostama seda ka kindlate tegevusaladega, kus töötajad on eksponeeritud puidutolmule ja esineb kõrge risk KOK kui kutsuhaiguse tekkeks [20].

### **ISIKUKAITSEVAHENDITE KASUTAMINE**

Lisaks üldistele ohutusmeetmetele põllumajanduses on olulisel kohal IKV õige valik ja kasutamine kindla ohuteguri suhtes. Kreekas 148 osalejaga (farmerite) läbiviidud uuringust selgus, et IKV kasutamine varieerus märkimisväärselt. Müts ja saapad olid sagedamini kasutatud kaitsevahendid, samas kui respiraator oli kõige vähem kasutatud. Üldiselt teatasid IKV süstemaatilisest kasutamisest 23,6% põllumajandustootjatest. PME töötajad, kes pidasid taimekaitsevahendeid kahjulikeks aineteks, või need, kellel oli minevikus mürgistusjuhtum, kasutasid sagedamini erinevaid isikukaitsevahendeid. Regressioonianalüüsi tulemusel selgus, et minevikus toimunud mürgistusjuhtumil oli IKV-de kasutamisele kõige suurem positiivne mõju, millele järgnes taimekaitsevahendite tajumine ohtlike ainetena, gümnaasiumiharidus, eelnev taimekaitsevahenditega seotud koolitus (st pihustusseadmed, rakendusparameetrid, ohud inimeste tervisele ja keskkonnale, ohutusprobleemid) läbimine ja haritava põllumaa suurus. [21]

Vanadus avaldas isikukaitsevahendite kasutamisele märkimisväärset negatiivset mõju, nimelt kippusid eakad talupidajad isikukaitsevahendeid mitte kasutama. Strateegiad, mida kasutatakse taimekaitsevahendite kasutajate maksimaalseks kaitsmiseks ohtliku kokkupuute eest, vajavad suurema tõhususe saavutamiseks uuendusi. [21]



Suuremad põllumajandustootjad olid IKV-sid rohkem valmis kasutama kui väiketalunikud. Võimalik seletus võiks olla tõsiasi, et suurte PME töötajad kasutavad taimekaitsevahendeid tavaliselt pikema aja vältel ja seetõttu eeldatakse, et ilma IKV-ta pihustamisel puutuvad need töötajad kemikaalide kahjulike mõjudega kokku rohkem kui väiketalupidajad. Mõnede IKV-toodete kõrge maksumus võib piirata väiketalupidajatele IKV-de kättesaadavust. IKV mittekasutamise põhjuste väljaselgitamine on ülioluline, et suunata programme taimekaitsevahenditega kokkupuute vältimisele. [21]

Tubakatootjate seas läbiviidud uuring IKV kasutamise osas näitas, et põllumajandustootjate kaitsevahendite mittekasutamise peamine põhjus oli see, et kaitsevahendid on ebamugavad [22].

Hariduse, arusaamade ja IKV kasutamise osas on arvukad uuringud tuvastanud lahknevusi teadmistes / hariduses, mis käsitlevad aerosoolide kahjulikku mõju põllumajanduskeskkonnas, hingamisteede kaitsemeetmeid ja hingamisteede IKV regulaarset kasutamist. Väikeses kohordiuuringus, kus hinnati hingamisteede sümptomeid ja IKV-de vajaduse mõistmist ja kasutamist 24-l Põhja-Carolina väikeste kodulinnufarmide töötajal, pidas enam kui 75% töötajatest hingamisteede IKV-sid oluliseks, vähem kui pooled vastasid, et on tavaliselt või varasemalt kasutanud hingamisteede kaitsevahendeid [23]. Mitmed vastajad käsitlesid hingamisteede kaitsevahendite kasutamise raskusi, osutades, et ühekordse tolumumaskid ummistusid ja / või muutusid higistamisel liiga niiskeks, samas kui poolmaske kirjeldati kui kandmiseks liiga palavaid või liiga kulukaid. [24]

2011. aastal läbi viidud talude ja rantšode ohutusuuringu andmetel oli vähem kui 40% farmi töötajatest viimase aasta jooksul kasutanud respiraatoreid (määratletud kui respiraatori või tolumumaski kasutamine). Põllumajandustöötajatest kandsid tõenäolisemalt hingamisteede kaitsevahendeid need, kellel oli diagnoositud astma (47% versus 35%) ning astmahaigete seas teatasid respiraatori kasutamisest umbes kaks kolmandikku inimestest, kellel on diagnoositud tööst tingitud astma, samal ajal kui tööga mitte seotud astmaga diagnoositutest kasutatavad respiraatoreid ainult 44%. [24]. Põllumajandustöötajad, kes kasutasid pestitsiidide, kasutasid hingamisteede kaitsevahendeid enam kui kolm korda tõenäolisemalt; viimase aasta jooksul on umbes 55% vastanutest kasutanud pestitsiidide kasutamise ajal hingamisteede kaitsevahendeid. Selles uuringus kasutasid põllukultuuride kasvatajad tõenäolisemalt respiraatoreid kui loomakasvatajad. [24]

Uuriti USA keskosa läänepoolsete põllumajandustöötajate arusaamasid ja teadmisi hingamisteede kaitsevahendite kohta. Selles peaaegu 300 PME käsitlevas uuringus oli üle 95% farmi pidajatest teadlikud, et hingamisteede kaitsevahendite (määratletud kui respiraatorid / maskid) kasutamine vähendab tolmu kokkupuudet. Siiski teatasid vastajad, et IKV-sid kasutatakse tolmu kokkupuutel vähem kui 50% ajast. Kokku umbes 25% vastanutest leidis, et nad pole nõus või ei teadnud, et pidev tolmu kokkupuude võib põhjustada KOKi. Lisaks ei nõustunud umbes 15% sellega, et loomapidamishoonetes esineb kokkupuude tolmu, ja 40% ei teadnud, et tolmu selles

keskkonnas sisaldab sissehingatavaid toksine. Peamine põhjus, miks isikukaitsevahendeid ei kasutatud, oli unustamine. Isikukaitsevahendite kandmata jätmise põhjuste hulka kuulusid ka põhjendused, et maskid olid “ebamugavad” või “pole vajalikud” ning isikud, kes märkisid isikukaitsevahendite mittekasutamise põhjuseks “muud”, viitasid respiraatori puudumisele või et nad hindasid respiraatori kasutamist ebaefektiivseks. [24]

## JÄRELDUSED

Hingamisteede ohuteguritele põllumajanduses tuleb oluliselt rohkem pöörata tähelepanu kui seda on tehtud Eestis varem. Kuna põllumajanduses on suurema toodangu eesmärgil vaja kasutada taimekaitsevahendeid ja pidada suurtes hulkades loomi kompaktsemalt, sageli ka kinnistes ruumides, siis see suurendab oluliselt riski tööga seotud hingamisteede haigestumisele põllumajandustöötajate hulgas. Peamisteks tervisekahjustajateks on erinevad taimekasvatustes kasutatavad pestitsiidid ning loomapidamise korral bioaerosoolid, mis võivad lisaks bioloogilistele ohuteguritele nagu mikroorganismid, seened, sisaldada ka loomade elutegevuse tagajärjel tekkinud ühendeid nagu ammoniaak ja süsihappegaas, kuid ka paljusid teisi keemilisi ühendeid. Üheks võimaluseks hingamisteede ohuteguritega otsest kokkupuudet vältida on kasutada sobivaid isikukaitsevahendeid. Kuid isikukaitsevahendite kasutamine seisab sageli töötajate tõekspidamiste, haridustaseme, varasema ohutegurite negatiivse mõju kogemise ja isikukaitsevahendite kättesaadavuse taga.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] “EUROSTAT Self-reported work-related health problems and risk factors - key statistics,” [Online]. Available: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/3/3f/Share\\_of\\_the\\_population\\_reporting\\_that\\_they\\_had\\_chronic\\_lower\\_respiratory\\_diseases\\_%28excluding\\_asthma%29%2C\\_2014\\_%28%25%29\\_Health2019.png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/3/3f/Share_of_the_population_reporting_that_they_had_chronic_lower_respiratory_diseases_%28excluding_asthma%29%2C_2014_%28%25%29_Health2019.png). [Accessed 08 04 2020].
- [2] “Mortality from respiratory diseases. Health at a Glance: Europe 2016: State of Health in the EU Cycle,” OECD/European Union, Paris, 2016.
- [3] Eurostat, “Respiratory diseases statistics,” 2014. [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/eurostat/product?code=hlth\\_ehis\\_cd1e&language=en&mode=view](http://ec.europa.eu/eurostat/product?code=hlth_ehis_cd1e&language=en&mode=view). [Accessed 10 04 2020].
- [4] A. Mamane, I. Baldi, e.-F. Tessier, C. Raherison and G. Bouvier, “Occupational exposure to pesticides and respiratory health,” *European Respiratory Review*, vol. 24, no. 136, pp. 306-319, 2015.
- [5] M. Maroni, A. C. Fanetti and F. Metruccio, “Risk assessment and management of occupational exposure to pesticides in agriculture,” *La Medicina del lavoro*, vol. 97, no. 2, p. 430-437, 2006.
- [6] I. Baldi, P. Lebailly, V. Rondeau, V. Bouchart, A. Blanc-Lapierre, G. Bouvier, M. Canal-Raffin and A. Garrigou, “Levels and determinants of pesticide exposure in operators involved in treatment of vineyards: results of the

- PESTEXPO Study,” *J Expo Sci Environ Epidemiol.*, vol. 22, no. 6, pp. 593-600, 2012.
- [7] N. Akdeniz, L. D. Jacobson and B. P. Hetchler, “Health risk assessment of occupational exposure to hazardous volatile organic compounds in swine gestation, farrowing and nursery barns,” *Environ Sci Processes Impacts*, vol. 15, p. 563–572, 2013.
- [8] A. Chmielowiec-Korzeniowska, “The concentration of volatile organic compounds (VOCs) in pig farm air,” *Ann Agric Environ Med*, vol. 16, no. 2, p. 189–194, 2009.
- [9] A. Chmielowiec-Korzeniowska, L. Tymczyna, M. Pyrz, B. Trawińska, K. Abramczyk and M. Dobrowolska, “Occupational exposure level of pig facility workers to chemical and biological pollutants,” *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, vol. 25, no. 2, pp. 262-267, 2018.
- [10] E. Karwowska, “Microbiological air contamination in farming environment,” *Pol J Environ Stud*, vol. 14, no. 4, p. 445–449, 2005.
- [11] S. S. Schiffman and C. M. Williams, “Science of odor as a potential health issue,” *J Environ Qual*, vol. 34, p. 129–138, 2005.
- [12] G. D. Nielsen, S. T. Larsen, O. Olsen, M. Løvik, L. K. Poulsen, C. Glue and P. Wolkoff, “Do indoor chemicals promote development of airway allergy?,” *Indoor Air*, vol. 17, no. 3, p. 236–255, 2007.
- [13] K. J. Donham, P. S. Thorne, G. M. Breuer, W. Powers, S. Marques and S. J. Reynolds, “Exposure limits related to air quality and risk assessment,” *EHSRC, editor. Iowa concentrated animal feeding operations air quality study. Iowa: University of Iowa College of Public Health*, pp. 164-183, 2002.
- [14] W. A. Zukiewicz-Sobczak, J. Chmielewska-Badora, P. Wróblewska and J. Zwoliński, “Farmers' occupational diseases of allergenic and zoonotic origin,” *Postepy Dermatologii i Alergologii*, vol. 30, no. 5, pp. 311-315, 2013.
- [15] A. Hamid, A. S. Ahmad and N. Khan, “Respiratory and Other Health Risks among Poultry-Farm Workers and Evaluation of Management Practices in Poultry Farms,” *Brazilian Journal of Poultry Science*, vol. 20, no. 1, pp. 111-118, 2018.
- [16] S. Viegas, V. Faísca, H. Dias, A. Clérigo, E. Carolino and C. Viegas, “Occupational exposure to poultry dust and effects on the respiratory system in workers,” *Journal of Toxicology and Environmental Health , Part A*, vol. 76, no. 4-5, pp. 230-239, 2013.
- [17] A. Oppliger, N. Charriere, P. Droz and T. Rinsoz, “Exposure to bioaerosols in poultry houses at different stages of fattening; use of real-time pcr for airborne bacterial quantification,” *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 52, no. 5, pp. 405-412, 2008.
- [18] U. Jameel, A. Batool and T. M. Hayat, “Assessment of occupational exposure to volatile organic compounds in poultry workers,” *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*, vol. 3, no. 2, pp. 59-68, 2015.

- [19] J. Hartung and J. Schulz, "Occupational and environmental risks caused by bio-aerosols in and from farm animal houses," *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 1-8, 2011.
- [20] M. Meldrum, R. Rawbone, A. D. Curran and D. Fishwick, "The role of occupation in the development of chronic obstructive pulmonary disease (COPD)," *Occup Environ Med*, vol. 62, p. 212–214, 2005.
- [21] C. A. Damalas and G. Abdollahzadeh, "Farmers' use of personal protective equipment during handling of plant protection products: Determinants of implementation," *Science of the Total Environment*, vol. 571, no. December 2018, pp. 730-736, 2016.
- [22] C. A. Damalas, E. B. Georgiou and M. G. Theodorou, "Pesticide use and safety practices among Greek tobacco farmers: a survey," *Int J Environ Health Res*, vol. 16, no. 5, pp. 339-348, 2006.
- [23] G. D. Kearney, B. Gallagher and R. Shaw, "Respiratory Protection Behavior and Respiratory Indices among Poultry House Workers on Small, Family-Owned Farms in North Carolina: A Pilot Project," *J Agromedicine*, vol. 21, no. 2, p. 136–143, 2016.
- [24] T. M. Nordgren and C. Charavaryamath, "Agriculture Occupational Exposures and Factors Affecting Health Effects," *Current Allergy and Asthma Reports*, vol. 18, no. 12, 2018.

## **Skeletilihaskonna vaevuste seosed individuaalsete ja tööga seotud teguritega regulaarse tervisekontrolli läbinud töötajate hulgas**

A. Uiboleht<sup>1</sup>, E. Merisalu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

### **Abstract**

**Aim.** The purpose of this study was to examine the relationships between musculoskeletal disorders (MSD) and associated factors among Estonian employees.

**Method.** The sample was collected by the persons who passed regular health surveillance in the Occupational Health Service Centre (OHSC) between 2016 and 2018. The data were collected from the database of the institution providing OH service for a total of 1300 persons passed health surveillance throughout three years (0,7%). The following data have collected: age, gender, profession, field of activity, BMI, smoking, work related hazards, musculoskeletal disorders, physical activity, health check time and region of OH service. We compared the prevalence of MSDs by age, gender, body-mass index (BMI) and main work-related hazards. We analysed relationships between MSD and work related hazards and individual (BMI, age, sex).

**Results.** The study group was formed on 1300 persons, where 48% of the subjects were women and 52% men. The age of the participants was 18 to 78 years (average 42,3±12,7 years; M 41,1±12,7 and F 43,8±12,6 years). The most often work related health hazards were awkward position (81%), work with visual display unit and eyestrain (64%) and psycho-emotional strain (51%). The main body regions with musculoskeletal pain were lower back (14,9%) neck and shoulders (12,5%) and head (3,8%). There is a difference in MSD prevalence by the age group – complaints about legs, knees and wrist/hand. Based on the results, women have significantly more headache, neck and shoulders complaints, legs complaints and complaints about wrist/hand compared to men. Based on the results there are the differences between the BMI groups with complaints in legs and wrist/hand.

**Conclusions.** Employees' musculoskeletal disorders are related to both individual and work-related factors.

**Keywords:** musculoskeletal disorders, risk factors, Occupational Health Service

### **SISSEJUHATUS**

Skeleti-lihaskonna vaevused (SLV) on Eestis ja kogu maailmas laialt levinud terviseprobleem, mida esineb kõigis töövaldkondades. Ekspertid on hinnanud luu- ja liigeshaiguste eripäraks selle, et töövõimelised inimesed muutuvad haiguse tõttu ilma õigeaegse piisava ravita kiirelt töövõimetuks, põhjustades ühiskonnale suuri kulutusi. Kui suurel osal tööealisest elanikkonnast on tööviljakus halva tervise tõttu langenud, võib see viia kogu töötajaskonna tootlikkuse ja tulemuslikkuse vähenemiseni. [1-2] Eesti Vabariigi Sotsiaalministeeriumi poolt koostatud Rahvastiku tervise arengukava

2020–2030 kinnitab, et iga aastaga on suurenenud skeleti-lihaskonna ja sidekoe-haigustesse haigestumine ning need on olnud oluliseks tervise-kaotuse põhjustajaks Eestis. 2016. a. moodustasid kutsahaigestumistest SLV 76,1%. Ühe Washingtoni Ülikooli uurimisinstituudi (*Institute for Health Metrics and Evaluation*) arvutuste põhjal on SLV peamisteks riskideks kõrge KMI, töokeskkonna ohutegurid ja tubakatarbimine [1]. Skeletilihasvaevusi võivad põhjustada valed töövõtted raskuste tõstmisel, sundasendid ja -liigutused koos mittepiisava puhkusega, aga ka psühho-emotsionaalne ülepinge ja vähene liikumine. Üle maailma on uuringuid läbiviidud luu-lihaskonna probleemide kohta asutuse- või erialapõhiselt. Nt hambaarstide, kontoritöötajate, tootmistöötajate jt ametialade kohta. Nende uuringute tulemused näitavad, et skeleti-lihaskonna kaebused on väga sagedased olenemata erialast ning sageli esineb kaebusi kaela-, alaselja- ja õlgade piirkonnas [3–13]. Ühes Ghana elanikkonna uuringus selgus, et vanuse suurenedes krooniliste alaseljavaevuste ja liigesvalude (artriidi) levimus elanikkonna hulgas oluliselt suureneb ning madalama hariduse ja viletsama sotsiaalmajandusliku tagapõhjaga naistel on suurem šanss SLV esinemiseks, võrreldes meestega [14]. Samuti on Eesti Maaülikoolis tehtud viimaste aastate jooksul mitmeid uurimistöid skeleti-lihaskonna vaevuste levimuse ja ennetamise teemadel erinevates ametites [15–20]. Luu-lihaskonna kaebuste esinemine ei tähenda veel väljakujunenud haigust, kuid selliste kaebustega isik vajab arsti tõhusaid nõuandeid ja soovitusi ning preventiivseid tegevusi selle nimel, et kutsahaigust välja ei kujuneks. Mida on vaja teha teisiti või paremini, et luu-lihaskonna sümptomeid varakult avastada, probleemide esinemissagedust vähendada ning sellega parandada Eesti inimese töövõimelisust? Uurimistöö üheks eesmärgiks oli uurida SLV-de seoseid nii tööst põhjustatud kui ka individuaalsete teguritega.

## MATERJAL JA METOODIKA

Uuritava grupi moodustavad aastatel 2016–2018 Töötervishoiu ja tööohutuse seaduse alusel töötajate tervisekontrolli läbinud isikud. Valimi suuruseks on 1300 inimest, mis moodustab ligikaudu 0,2% Eesti tööealisest elanikkonnast ja 0,7% töötervishoiu teenust pakkuva asutuse tervisekontrolli läbinud töötajate kolme aasta koguarvust. Uuringu valim on kihtvalim. See tähendab seda, et baseerudes teadmisele, mitu protsenti töötajate tervisekontrolli on teinud töötervishoiuteenuse pakkuja Eesti vastavas piirkonnas (Tallinn ja lähiümbrus + Saaremaa ja Hiiumaa; Tartu ja lähiümbrus; Pärnu ja lähiümbrus; Jõhvi ja lähiümbrus), selgub valim numbriliselt iga piirkonna kohta. Uuritava grupi moodustamiseks andmebaasi otsingsüsteemis olid järgmised kriteeriumid: aeg aastate kaupa vahemikus 2016–2018 a., töötervishoiuarsti visiit (regulaarne tervisekontroll), regionaalne piirkond. Selle alusel tekkis valim juhusliku valiku teel (nt iga 5. isik nimekirjast). Töötervishoiuteenust pakkuva asutuse kliendi(andme)baasist koguti järgmised andmed: vanus, sugu, kehamassiindeks, suitsetamine, amet, töö ohutegurid, tegevusvaldkond, luu-lihaskonna kaebused, tervisespordiga tegelemine, tervisekontrolli aeg, regionaalne piirkond. Erinevaid tööga seotud ohutegureid oli kokku 19: raskuste käsitsi teiselaldamine, sundasend, sundliigutused/korduvliigutused, kuvaritöö/silmade pinge, käte koormus, liikuv/seisev töö/koormus jalgadele, tolm, müra, vibratsioon, kemikaalid, psühho-emotsionaalne pinge, vigastusoht, elektriolt/põlenguolt/plahvatusoht, ioniseeriv

kiirgus/röntgenkiirgus/elektromagnetväli, töö vahetustes/öötöö, ebamugav mikrokliima, välitingimustes töötamine, bioloogiline oht, suitsusukeldumine/veepinnalt päästmine. Skeletilihaskaevused jagati kehapiirkondade kaupa *Finnish Institute of Occupational Health* (FIOH) jaotuse alusel järgnevalt: pea, kaela-õlavööde, kogu alajäse, põlv, hüppeliiges/labajalg, kogu ülajäse, ranne/labakäsi, küünarvars, puusad, alaselg [21].

Uuritavate kehamassiindeks (KMI) arvutati, kasutades järgmist valemit:  $KMI = \text{mass (kg)} / \text{pikkus (m}^2\text{)}$  [22]. Vanuseliselt jaotati uuritavad kolme gruppi: 18–39 aastat, 40–59 aastat ja 60–78 aastat. Andmed koguti käsitsi töötervishoiuteenuse pakkuja infosüsteemist isikute haigusjuhtudest *MS Excel* tabelisse. Statistiline andmetöötlus tehti, kasutades *MS Excel* arvutusprogrammi ja *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS.26). Tulemuste põhjal toodi välja üldsagedusnäitajad, keskmised väärtused. Gruppide võrdlemiseks kasutati t-testi ja ANOVA-testi ning erinevate tunnuste vaheliseks seoste hindamiseks *Pearson'i* korrelatsioonianalüüsi. Statistilise olulisuse nivooks võeti  $p < 0,05$ .

Uuringu läbiviimiseks saadi nõusolek töötervishoiuteenust pakkuvalt asutuselt ning kooskõlastus Tartu Ülikooli Inimuurigute Eetika Komiteelt (18.03.2019 Protokoll number: 291/T-20). Andmete kogumisel järgiti rangelt delikaatsete isikuandmete töötlemise reegleid.

## TULEMUSED JA ARUTELU

Uuritavate soo-vanuselised karakteristikud on toodud tabelis 1. Töötervishoiuteenust osutava asutuse andmebaasist selekteeriti välja töötajate tervisekontrolli läbinud isikud ( $n=1300$ ), kellest 48% olid naised ja 52% mehed. Uuringus osalejate keskmine vanus oli  $42,3 \pm 12,7$  aastat (18 – 78 a.). Naiste keskmine vanus oli veidi kõrgem kui meestel ( $43,8 \pm 12,6$  vs  $41,1 \pm 12,7$ ). Uuritavate jagunemine vanusegrupiti on sooliselt veidi erinev. Kõige rohkem uuritavaid mehi on nooremas vanusegrupis 18–39 a. ja naisi vanusegrupis 40–59 a.

**Tabel 1.** Uuritavate soo-vanuseline jaotumus (keskmine  $\pm$  SD; vanusgrupiti)

**Table 1.** Distribution of the participants by age (average and by sub-groups) and gender

Vanusgrupid, aastat	Uuritavate arv	Uuritavate osakaal, %	Keskmine	SD
<b>Kõik kokku</b>	1300	100,0	42,4	26,7
18–39	604	46,5		
40–59	541	41,6		
60–79	155	11,9		
<b>Mehed</b>	676	52,0	41,1	12,7
18–39	352	52,1		

40–59	246	36,4		
60–79	78	11,5		
<b>Naised</b>	624	48,0	43,8	26,5
18–39	252	40,4		
40–59	295	47,3		
60–79	77	12,3		

Kehamassiindeks jagunes järgmiselt: alakaalus oli 2,3%, normaalkaalus 41,7%, ülekaalus 32,9%, rasvumise I-s astmes 15,3%, rasvumise II-s astmes 5,8% ning rasvumise III-s astmes 1,9%. Kokku oli rasvunud kategoorias 23% uuritavatest (Tabel 2). Uuritavate keskmine KMI oli  $26,7 \pm 5,8$ , mis viitab valdavalt ülekaalulisusele.

**Tabel 2.** Uuritavate kehamassiindeks (KMI) soo-vanuselises struktuuris (keskmine  $\pm$  SD, KMI grupid\*, soo- ja vanusgrupiti)

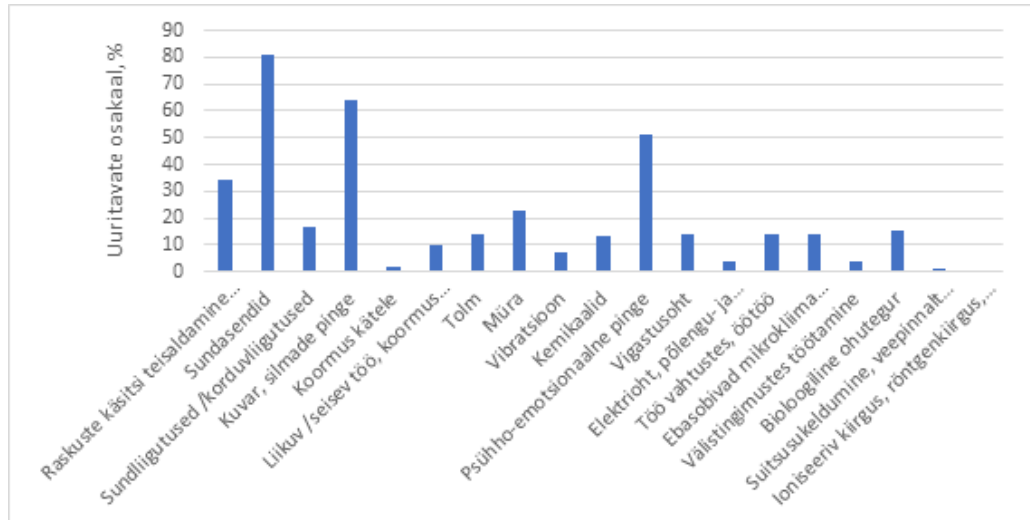
*Table 2. Demographic parameters related to Body-Mass Index (BMI) of the study group (average  $\pm$  SD, BMI groups\* by gender and age groups)*

<b>KMI-grupid, kg/m<sup>-2</sup></b>	<b>Uuritavate arv</b>	<b>Uuritavate osakaal, %</b>	<b>Keskmine</b>	<b>SD</b>
<b>Kõik kokku</b>	1295	100,0	26,7	5,8
I – 16,0–18,49	30	2,3		
II – 18,5–24,9	538	41,7		
III – 25,0–29,9	424	32,9		
IV – >30	298	23,1		
<b>Mehed</b>	673	52,0	27,2	4,9
I – 16,0–18,49	3	0,4		
II – 18,5–24,9	242	36,0		
III – 25,0–29,9	265	39,4		
IV – >30	165	24,1		
<b>Naised</b>	622	48,0	26,3	6,7
I – 16,0–18,49	27	4,4		
II – 18,5–24,9	296	47,9		
III – 25,0–29,9	159	25,7		
IV – >30	136	22		
<b>KMI, kõik kokku, kg/m<sup>-2</sup></b>	1295	100,0	26,7	5,8
<b>Vanusgrupid, aastat</b>				
18–39	602	46,5	24,8	4,8
40–59	539	41,6	28,0	6,2
60–79	154	11,9	29,5	5,9



\*KMI-grupid: I – alakaal, II – normkaal, III – ülekaal, IV - rasvumine

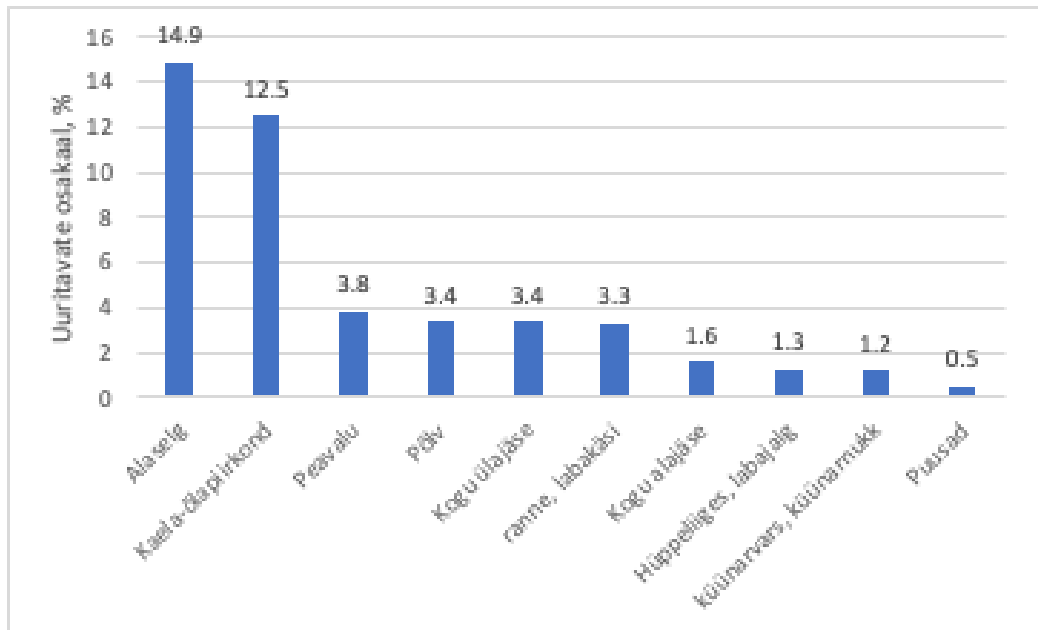
Kõige sagedamini esinevad töö ohutegurid olid antud uurimuses sundasendid (81%-l), kuvar, silmade pinge (64 %-l) ja psühho-emotsionaalne pinge, mille alla kuuluvad vastutus, psühholoogiline pinge, töö monotoonsus, tähelepanu pingelisus (51%). Järgnesid raskuste käsitsi teisaldamine (34%), müra (23%), sundliigutused/korduvliigutused (17%), bioloogiline ohutegur /nakkusoht (15%) jt. (Joonis 1).



**Joonis 1.** Tööga seotud ohutegurite esinemine tervisekontrolli läbinud töötajate hulgas (% , uuritavate osakaal).

**Figure 1.** Work related risk factors among workers who have passed health check (proportion of participants, %).

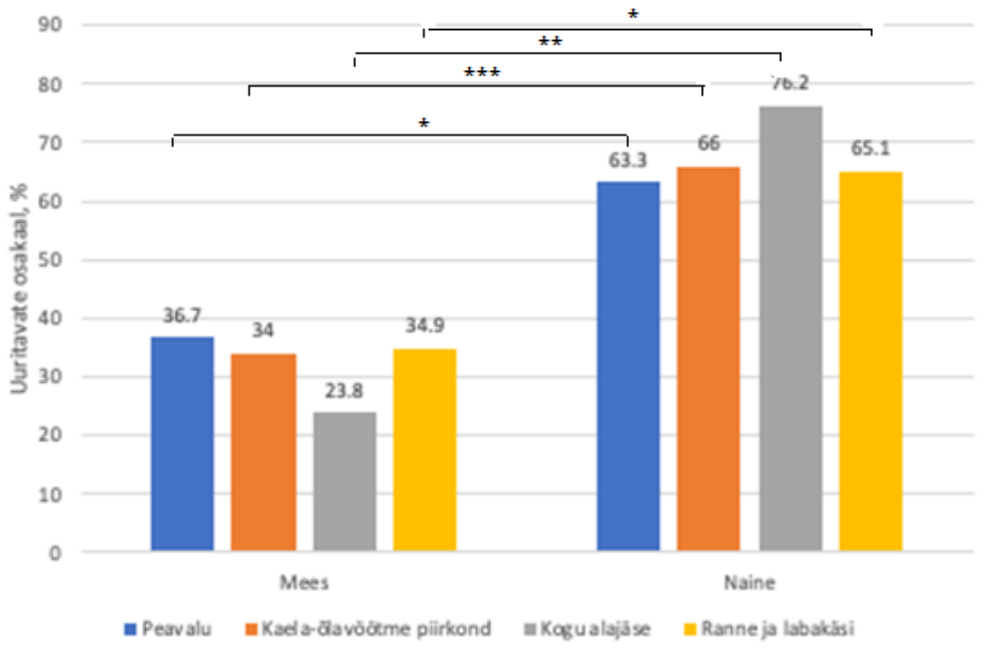
Kõige sagedamini esinesid töötajatel antud uuringu põhjal LLV-d järgmistes kehapiirkondades: alaselg (14,9%), kaela-õlapiirkond (12,5%) ja pea (3,8%) (Joonis 2). Sarnaseid tulemusi näitavad ka mitmed teised uuringud, mis tehti Tartus näiteks kassapidajate, haigla hooldustöötajate või masinõmblejate kohta – need näitasid, et töötajatel esines valusid kõige enam alaseljas, kaelas ja õlgades või trapetslihases [6, 7, 9].



**Joonis 2.** Skeletilihvasvaevuste esinemine tervisekontrolli läbinud töötajate hulgas (% uuritavate osakaal).

**Figure 2.** Prevalence of MSD among employees who have passed health check (proportion of participants, %).

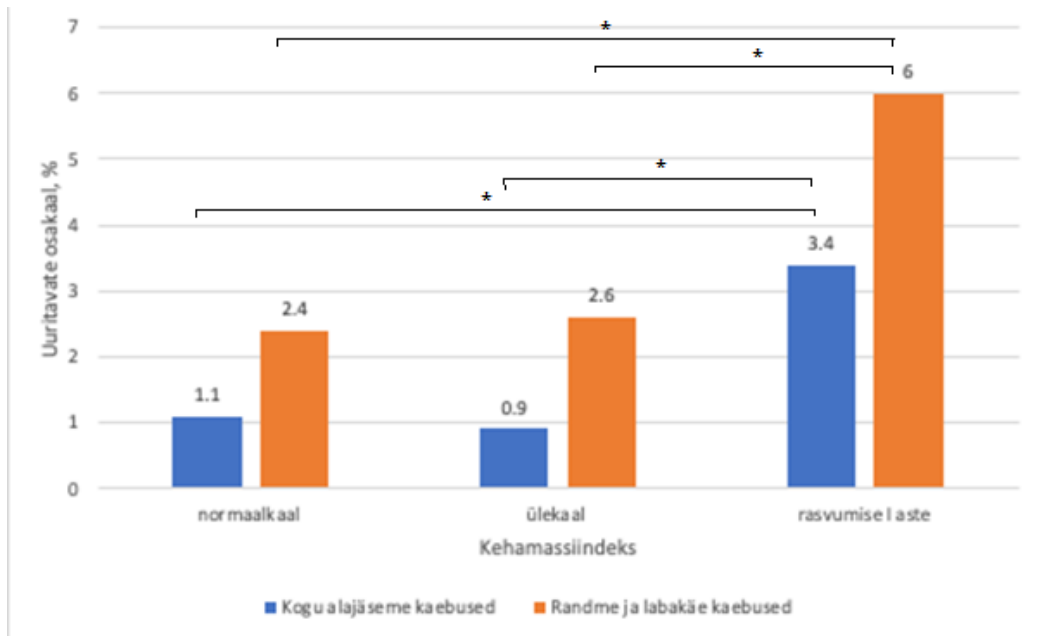
Antud uuringu tulemused näitasid olulisi soolisi erinevusi ( $p=0,05-0,0001$ ) (Joonis 3). Kuigi esines uuritavas grupis kõige enam alaseljavalusid (Joonis 2), ei näidanud need soolisi erinevusi. Naistel esines meestest oluliselt rohkem peavalu ( $p=0,029$ ), kaebusi kaela-õlavöötme piirkonnas (õlavöötme pinged, kaelavalu, õlavalu, õlavöötmevalu) ( $p=0,000$ ) ja alajäsemetes (jalgade valu, väsimine, krampid) ( $p=0,009$ ) ning kaebusi randme/labakäe osas (väsimus, nõrkus, valu, sõrmeliigete valu / jäikus, labakäe turse, sõrmede tuimus) ( $p=0,022$ ). Sarnaseid tulemusi on näidanud ka varasemad uuringud, kus naistel esines oluliselt rohkem kroonilisi liigesvalusid kui meestel. Kui Ghana naistel oli oluliselt rohkem alaseljavalusid, võrreldes meestega, siis selles uuringus seda erinevust ei esinenud [14]. Siinkohal on ka oluline silmas pidada, et uuringus osalenud naiste keskmine vanus oli veidi kõrgem kui meestel ning kõige rohkem uuritavaid mehi oli nooremas vanusegrupis (18–39 a.) ja kõige rohkem uuritavaid naisi oli keskmises vanusegrupis (40–59 a.). Naiste ja meeste vanuseline erinevus võis mõjutada tulemusi, sest naistel vanuses 40–59 a. toimuvad organismis teatud muutused (menopaus), mis mõjutavad nii naise füüsilist kui vaimset tervist – hormonaalsete muutuste tõttu võetakse sageli kaalus juurde ning häiritud on emotsionaalne tasakaal [23].



**Joonis 3.** Skeetilihasvaevused (% , osakaal uuritavatest) sõltuvalt soost (\* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,001$ , \*\*\* $p < 0,0001$ ).

**Figure 3.** Prevalence of MSD (proportion of participants, %) depending on gender .

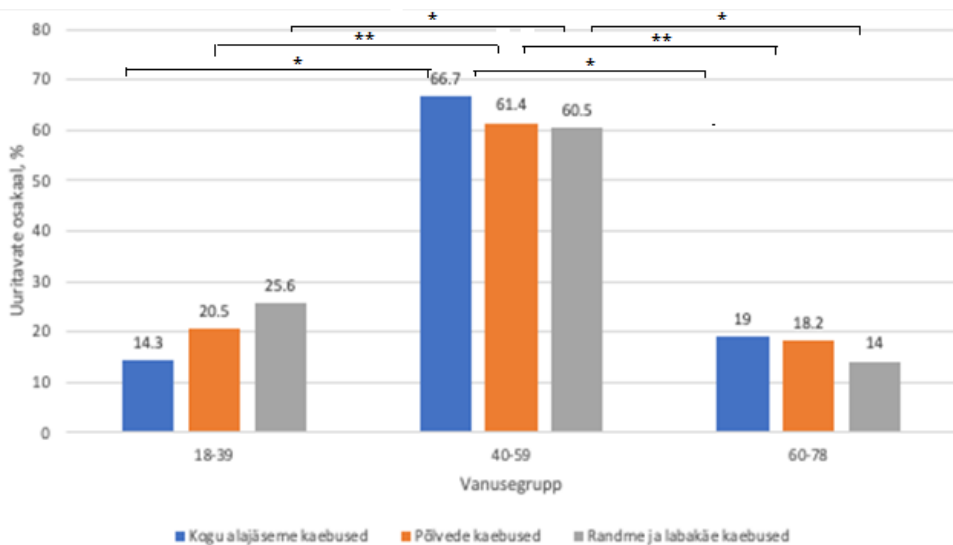
Samuti näitasid uuringu tulemused SLV levimuses erinevusi sõltuvalt KMI skoorist ( $p < 0,05$ ). Rasvumise I astmega töötajatel (KMI väärtusega 30,0–34,9 kg/m<sup>2</sup>) esines oluliselt rohkem kogu alajäseme kaebusi ( $p = 0,037$ ) ning randme/labakäe kaebusi ( $p = 0,018$ ), võrreldes normkaalus või ülekaalus töötajatega või ka rasvumise II ja III astmes isikutega (Joonis 4). Kehakaalu suurenedes (KMI skoor  $> 35$  kg/m<sup>2</sup>) hakkab tõenäoliselt skeleti-lihaskond kohanema suuremate koormustega või lihtsalt harjutakse oma hädadega elama.



**Joonis 4.** Skeletilihasvaevused (% , osakaal uuritavatest) töötajate hulgas sõltuvalt KMI skoorist (\* $p < 0,05$ ).

**Figure 4.** Prevalence of MSD among employees (proportion of participants, %) depending on BMI score levels (\* $p < 0,05$ ).

Võrreldes SLV-id vanusegrupiti, näitasid tulemused, et keskealiste vanusegrupis 40–59 aastat esines oluliselt rohkem ( $p < 0,05$ ) alajäseme (jalgade valu, väsimine, krambid) kaebusi ( $p = 0,012$ ), põlvede ( $p = 0,002$ ) ja randme/labakäe kaebusi ( $p = 0,017$ ), võrreldes nooremate ja vanemate töötajatega (Joonis 5).



**Joonis 5.** Skeetilihasvaevuste esinemine töötajatel (% , osakaal uuritavatest) sõltuvalt vanusest (\* $p<0,05$ , \*\* $p<0,001$ ).

**Figure 5.** Prevalence of MSD (proportion of participants, %) depending on age of employees (\* $p<0,05$ , \*\* $p<0,001$ ).

Kui vaadelda seoseid vanuse ja tööga seotud ohutegurite vahel, siis statistiliselt oluline seos on kuvariga töö ja vanuse vahel – mida rohkem vanust, seda rohkem esineb kuvariga töötamist ( $p=0,001$ ). Samuti on statistiliselt oluline seos vanuse ja (öö)vahetustes töötamise vahel – mida rohkem vanust, seda rohkem (öö)vahetustes töötamist ( $p=0,037$ ). Samuti täheldati ka SLV levimuse suurenemist seoses vanuse suurenemisega ( $p<0,05$ ) järgmiste SLV-de osas: kogu ülajäseme kaebused (käte suremine, pinged kätes, käte valud) ( $p=0,000$ ), põlve kaebused (valud, liikumise piiratus) ( $p=0,003$ ), randme/labakäe kaebused (väsimus, nõrkus, valu, sõrmeliigeste valu / jäikus, labakäe turse, sõrmede tuimus) ( $p=0,004$ ), alaselja kaebused (valud kiirgumisega jalgadesse, pinged, väsimine, jäikus, kangus) ( $p=0,006$ ), kogu alajäseme kaebused (jalgade valu, väsimine, krambid) ( $p=0,026$ ) ja hüppeliigese/labajala kaebused (väsimus, valu, tursed, tuimus, varbaliigeste- või kannavalu) ( $p=0,032$ ).

Antud uuringu tulemused näitasid statistiliselt olulisi seoseid järgmiste tööga seotud ohutegurite ja SLV vahel ( $p=0,05-0,0001$ ):

- Kõige tugevamad seosed olid sundliigutuste/korduvliigutuste ja kogu alajäseme vaevuste (nt jalgade valu, väsimine, krambid) vahel ( $p=0,000$ ) ning kuvariga töö ja kaela-õlavöötme piirkonna kaebuste (nt õlavöötme pinged, kaelavalu, õlavalu, õlavöötmevalu) vahel ( $p=0,000$ ).

- Statistiliselt olulised seosed olid ka sundasendi ja kaela-õlavöötme piirkonna kaebuste vahel ( $p=0,002$ ); liikuva/seisva tööga jalgadel ja puusapiirkonna kaebuste vahel ( $p=0,003$ ); psühho-emotsionaalse pinget ja kaela-õlavöötme piirkonna kaebuste vahel ( $p=0,002$ ); välitingimustes töötamise (nt

erinevad temperatuurid) ja kaela-õlavöötme piirkonna kaebuste vahel ( $p=0,004$ ).

- Statistiliselt olulised seosed ( $p<0,01$ ) olid ka raskuste käsitsi teisaldamise /füüsiliselt raske töö ja kogu ülajäseme kaebuste (nt käte suuremine, pinged kätes, käte valud) vahel ( $p=0,008$ ) ning samuti ( $p<0,05$ ) küünarvarre piirkonna kaebuste vahel ( $p=0,029$ ).

- Statistiliselt olulised seosed ( $p<0,05$ ) olid ka sundliigutuste/korduvliigutuste ja alaselja vaevuste (nt valud kiirgumisega jalgadesse, pinged, väsimine, jäikus, kangus) vahel ( $p=0,05$ ); seisva/liikuva töö ehk töö jalgadel ja kogu alajäseme (nt jalgade valu, väsimine, krambid) ( $p=0,029$ ) ning põlvekaebuste (nt valud, liikumine piiratud) ( $p=0,015$ ) vahel; aga ka tolumuse keskkonna (puidu-, metalli-, tsemendi- ja põllutöodes) ja alaselja vaevuste vahel ( $p=0,031$ ); samuti ebasobiva mikrokliima (nt madal või kõrge temperatuur, tuuletõmme, niiskus) ja puusakaebuste vahel ( $p=0,026$ ).

Antud uuringu tulemused näitasid ka olulisi vastassuunalisi seoseid mõnede tööga seotud tegurite ja SLV vahel ( $p < 0,05$ ). Kui töötaja kasutas töös rohkem arvutit, esines oluliselt vähem valusid küünarvarre ( $p=0,046$ ), alaselja ( $p=0,046$ ) ja hüppeliigese ( $p=0,011$ ) piirkonnas. Väiksema vigastus- ja elektriõhuga tööde puhul esines oluliselt rohkem kaebusi kaela-õlavöötme ( $p=0,035$ ,  $p=0,034$ ) ja alaselja piirkonnas ( $p=0,044$ ).

## KOKKUVÕTE JA JÄRELDUSED

Analüüsiti töötajate tervisekontrolli läbinud isikute tööga seotud ohutegureid, SLV levimust kehapiirkonniti ja nimetatud näitajate seoseid sõltuvalt soo-vanuselisest aspektist. Kõige sagedamini esines tööga seotud ohuteguritest sundasendeid, töötamist kuvariga ja psühho-emotsionaalset pinget. Sarnaselt varasemate uuringutega esines uuritavatel kõige enam alaselja ning kaela-õlavalusid. Töötajate SLVd on seotud nii individuaalsete kui ka tööga seotud teguritega. Vanuse suurenedes esines oluliselt rohkem SLVd kogu ülajäseme osas, põlvede, randme/labakäe, kogu alajäseme ning hüppeliigese/labajala osas. Võrreldes norm- ja ülekaaluga, esines rasvumise I astme puhul oluliselt rohkem alajäseme ja randme/labakäe kaebusi. Samuti ilmnid soolised erinevused SLV levimuses kehapiirkonniti. Antud uuringu põhjal esines naistel meestest oluliselt rohkem peavalu, kaebusi kaela-õlavöötme ja randme/ labakäe piirkonnas ning alajäsemetes. Seda võib põhjendada üle 40-aastaste naiste suurema osakaaluga uuritavas gruppis, kusjuures meeste osas oli kõige suurema-arvulisem noorem vanusegrupp 18–39 a. Samas, ka keskealistel töötajatel esineb oluliselt rohkem kogu alajäseme, põlvede ja randme/labakäe kaebusi.

Arvestades uuringu tulemusi jõuame taaskord järelduseni, et peame töötades rohkem liikuma või asendeid vahetama ning vältima üleliigset psühho-emotsionaalset pinget. Rakendades nimetatud ennetusvõtteid, on võimalik suure tõenäosusega vähendada kaela-õlavöötme piirkonna vaevusi. Kaela-õlavöötme piirkonna kaudu toimub aga vereringe nii pea piirkonda kui kättesse ning piisav keheline aktiivsus ja psühho-emotsionaalne heaolu võivad mõjutada omakorda ka peavalu ja randme/labakäe piirkonna vaevuste esinemist.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Rahvastiku tervise arengukava 2020–2030 koostamise ettepanek. 2018. [WWW] [https://www.sm.ee/sites/default/files/content-editors/sisekomm/rahvastiku\\_tervise\\_arengukava\\_2020-2030\\_koostamise\\_ettepanek.pdf?fbclid=IwAR2hc0IUQDS6B1K\\_HPdjCzQI1LUkOU-PcN4aaAsMqWAFjpjQTGO1kmnrsus](https://www.sm.ee/sites/default/files/content-editors/sisekomm/rahvastiku_tervise_arengukava_2020-2030_koostamise_ettepanek.pdf?fbclid=IwAR2hc0IUQDS6B1K_HPdjCzQI1LUkOU-PcN4aaAsMqWAFjpjQTGO1kmnrsus) (22.01.20)
- [2] K. Zheltoukhova, S. Bevan. Töövõimeline Eesti? Luu- ja lihaskonna vaevused ning Eesti tööturg. The Work Foundation. Part of Lancaster University, 2011. [https://reumaliit.ee/sites/default/files/lehekylg/fit\\_for\\_fork\\_raport\\_toovõimeline\\_ee sti\\_luu- ja lihaskonna\\_vaevused\\_ning\\_eesti\\_tooturg.pdf](https://reumaliit.ee/sites/default/files/lehekylg/fit_for_fork_raport_toovõimeline_ee sti_luu- ja lihaskonna_vaevused_ning_eesti_tooturg.pdf) (20.02.2020)
- [3] S. Shankar, R. Naveen Kumar, P. Mohankumar, S. Jayaraman. Prevalence of work-related musculoskeletal injuries among South Indian screen-printing workers. *Work*, 2017, vol. 58(2), pp. 163–172, DOI: 10.3233/WOR-172612
- [4] A.H. Zeid, N. Mohammad, K. Yousef, A. Khader, A. R. Bibars. Work-related musculoskeletal disorders among Jordanian dental technicians: Prevalence and associated factors *Work*, 2017, Vol. 56 Issue 4, pp 617–623, [5] M. G. Devi, M., A. Vats. Prevalence of work related musculoskeletal disorders among women tea factory workers of Nilgiri: An ergonomic study. *Journal of Applied & Natural Science*. Sep2018, Vol. 10 Issue 3, pp. 990–994.
- [6] N. Pejčić, V. Petrović, D. Marković, B. Miličić, I. I. Dimitrijević, N. Perunović, S. Čakić. Assessment of risk factors and preventive measures and their relations to work-related musculoskeletal pain among dentists. *Work*, 2017, Vol. 57 (4), pp. 573–593.
- [7] K.A. Almhdawi, V. Mathiowetz, Z. Al-Hourani, Y. Khader, S. F. Kanaan, M. Alhasan. Musculoskeletal pain symptoms among allied health professions' students: Prevalence rates and associated factors. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 2017, Vol. 30 (6), pp. 1291–1301
- [8] P. Piranveyseh, M. Motamedzade, K. Osatuke, I. Mohammadfam, A. Moghimbeigi, A. Soltanzadeh, H. Mohammadi. Association between Psychosocial, Organizational and Personal Factors and Prevalence of Musculoskeletal Disorders in Office Workers. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics: JOSE*, 2016, Vol. 22 (2), pp. 267–73.
- [9] M. Omid, M. Jalilian, M. Kazemi, M. Kamalvandi, M. Jamshidzad, N. Kurd. Using of Cornell measuring tool (Cornell musculoskeletal discomfort questionnaires) for assessment of the musculoskeletal disorders prevalence among Ilam teaching

hospitals nurses: Cross-sectional study in 2016. *Annals of Tropical Medicine & Public Health*. Nov/Dec 2017, Vol. 10 Issue 6, pp. 1729-1734

- [10] U.O. Abaraogua, U.A.C. Okafor, A. O. Ezeukwu, S. E. Igwea. Prevalence of work-related musculoskeletal discomfort and its impact on activity: A survey of beverage factory workers in Eastern Nigeria. *Work*. 2015, Vol. 52 Issue 3, pp. 627–634. DOI: 10.3233/WOR-152100.
- [11] M. Ardahan, H. Simsek. Analyzing musculoskeletal system discomforts and risk factors in computer-using office workers. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 2016, Vol. 32, Issue 6, pp. 1425–1429. DOI: 10.12669/pjms.326.11436.
- [12] I. Maakip, T. Keegel, J. Oakman. Prevalence and predictors for musculoskeletal discomfort in Malaysian office workers: Investigating explanatory factors for a developing country. *Applied Ergonomics*, 2016, Vol. 53 Pt A, pp. 252–257.
- [13] A. Shariat, J.R. Cardoso, J.A. Cleland, M. Danaee, N.N. Ansari, Nouredin, M. Kargarfard, T. Mohd, B. Shamsul. Prevalence rate of neck, shoulder and lower back pain in association with age, body mass index and gender among Malaysian office workers. *Work*, 2018, Vol. 60, Issue 2, pp. 191–199. 4 Charts. DOI: 10.3233/WOR-182738.
- [14] E.K. Nakua, E. Otupiri, V.M. Dzomeku, E. Owusu-Dabo, P. Agyei-Baffour, A.E. Yawson, G. Folson, and S. Hewlett. Gender disparities of chronic musculoskeletal disorder burden in the elderly Ghanaian population: study on global ageing and adult health (SAGE WAVE 1). *BMC Musculoskeletal Disorders*, 2015, 16, 204, pp. 1-10. DOI 10.1186/s12891-015-0666-3 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4541744/>
- [15] K. Hiir, E. Merisalu. Masinõmblejate luu-lihaskonna vaevuste levimus, funktsionaalne seisund ja töövõime enne ning pärast sekkumistegevusi. Magistritöö. Eesti Maaülikooli Tehnikainstituut. Tartu, 2016, 34 lk.
- [16] M. Männaste, E. Merisalu. Masinõmblejate individuaalsed ja tööst tulenevad tegurid, luu-lihasvalud ning tugiliikumisaparaadi funktsionaalne seisund enne ja pärast sekkumist. Magistritöö. Eesti Maaülikooli Tehnikainstituut. Tartu, 2016, 35 lk.
- [17] P. Peedosaar, E. Merisalu. Haigla taastusravi osakonna töötajate töökeskkond ja skeleti-lihaskonna funktsionaalne seisund. Magistritöö. Eesti Maaülikooli Tehnikainstituut. Tartu, 2017, 32 lk.
- [18] G. Must, E. Merisalu, M. Pääsuke. Tööga seotud skeleti-lihasvaevused hooldustöötajatel: levimus ja seos tööprotsessi iseärasustega ning skeleti-lihassüsteemi funktsionaalse seisundiga. Magistritöö. Eesti Maaülikooli Tehnikainstituut. Tartu, 2018, 30 lk.
- [19] K. Kallion, T. Sirge. Kassapidajate ülajäsemete funktsionaalse seisundi ergonoomikaline hindamine. Bakalaureusetöö. Eesti Maaülikooli Tehnikainstituut. Tartu, 2016, 28 lk.
- [20] K. M. Kattai, A. Luha. 2018. Puksiirautojuhi töökeskkond ning kokkupuude müra ja vibratsiooniga. Bakalaureusetöö. Eesti Maaülikooli Tehnikainstituut. Tartu. 26 lk.
- [21] I. Kuorinka, B. Jonsson, A. Kilbom, H. Vinterberg, F. Biering-Sorensen, G. Andersson, K. Jorgensen. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, 1987, Vol. 18, No. 3, pp. 233–237.



- [22] Body mass index – BMI (s.a.). Word Health Organisation. [WWW]<http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi> (22.03.2020).
- [23] Saks, K., Maimets, T., Tamm, R., Uibo, R., Pääsuke, M., Tulviste, T., Soots, A., Sakkeus, L., Tammbaum, T., Medar, M., Tulva, T., Murov, A. Gerontoloogia. Õpik kõrgkoolidele. Tartu Ülikooli Kirjastus. 2016, 460 lk.

## Raskuste käsitsi teisaldamise hindamismeetodite võrdlus

*Importance of maintaining health promotion and work ability in Estonia and elsewhere in the world*

A. Viks, M. Reinvee

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

**Abstract.** It is a common knowledge, that the manual material handling task involves a significant health risk. Since 2001 it is mandatory in Estonia to evaluate this health risk with one specific method. This paper compares the mandatory method with two ergonomic assessment methods in order to evaluate the need to change the mandatory method. It was found that mandatory method allows to assess fewer manual material handling tasks and has more ambiguity than the two newer methods.

**Keywords:** Ergonomic Assessment Work-Sheet, Key Indicator Method, material manual handling

### SISSEJUHATUS

On üldtuntud tõsiasi, et raskuste teisaldamisega võivad kaasneda alaselja vaevused. Eestis hinnatakse vastavat terviseriski 2001. aastal sotsiaalministri poolt vastu võetud määruse nr 26 (SoMm26) lisas oleva juhendi järgi. Juhendit pole sellest ajast alates muudetud. Samas vahepeal on toimunud hindamismeetodite edasiarendused ja sellest tulenevalt peaks üle vaatama Eestis kasutatava raskuste käsitsi teisaldamise juhendi. Töös võrreldi kolme väliselt sarnast hindamismeetodit eesmärgiga hinnata SoMm26 uuendamise vajalikkust.

### MATERJAL JA METOODIKA

Võrreldavad meetodid valiti autorite kogemuste ja erialavõrgustike teabe põhjal.

**EAWS** [1] (*Ergonomic Assessment Work-Sheet* ehk ergonoomikalise hindamise tööleht) kui füüsilise töökoormuse seirevahend on välja töötatud Darmstadti Tehnikülikooli Ergonoomika Instituudi (IAD) poolt koostöös Euroopa autotööstusega ja on ametlikult kasutuses aastast 2009 [2].

EAWS koosneb neljast hindamise osast, mis võimaldavad hinnata:

- 1) tööasendid ja liigutused väiksema täiendava füüsilise pingutusega (vastavalt <30–40 N või 3–4 kg),

- 2) kogu keha või käe-sõrme jõu rakendamine;
- 3) raskuste käsitsi teisaldamine;
- 4) ülajäsemete korduvliigutused.

Artiklis vaatleme vaid EAWSi raskuste teisaldamise hindamise osa. See võimaldab hinnata raskuste tõstmise, hoidmise ja kandmise ( $EAWS_{LHC}$ ) ning lükkamise ja tõmbamise ( $EAWS_{PP}$ ) tööülesandeid. Meetod ühildub KIMi, NIOSH võrrandi teisaldava raskuse soovitusliku massi piirmäära (RWL) ja standarditega EN 1005-2, ISO 11228-1 ja ISO 11228. Meetod on kergesti kättesaadav meetodi kodulehelt (*eaws.it*) ja sellel on eestikeelne tööleht.

**KIM** (*Key Indicator Method* ehk võtmetegurite meetod) töötas välja Saksamaa Tööohutuse ja Töötervishoiu Föderaalne Instituut (BAuA) tihedas koostöös Saksa tööinspektoritega [3]. Loodud on kuus töölehte võtmeindikaatorite hindamiseks. Esimesena töötati 2001. aastal välja KIM tööleht raskuste tõstmiseks, hoidmiseks ja kandmiseks ( $KIM-LHC_{2001}$ ) [4]. Järgmisel aastal töötati välja tööleht tõmbamise ja lükkamise ülesannete hindamiseks ( $KIM-PP_{2002}$ ) ja aastal 2011 raskuste käsitsi teisaldamise  $KIM-MHO_{2011}$ . Aastatel 2013–2018 töötati välja kolme uue KIM-i töölehe mustandversioonid – kogu kehaga rakendatava jõu, ebamugavate asendite ja liigutuste jaoks ( $KIM-ABP$ ,  $KIM-BF$  ja  $KIM-BM$ ) ja alustati esimestena väljaantud töölehtede uuendamisega, mille tööversioonid avalikustati 2019. aastal ( $KIM-LHC_{2019}$ ,  $KIM-PP_{2019}$ ). Artiklis vaatleme  $KIM-LHC$  ja  $KIM-PP$  hindamismeetodeid, kuna nendega saab hinnata raskuste käsitsi teisaldamist.

Tõstmise, hoidmise ja kandmise hindamisel on võtmeindikaatoriteks kestus või sagedus, koorma mass, asend ja töötingimused. Lükkamise ja tõmbamise võtmeindikaatoriteks on kestus või sagedus, liigutatava koorma mass, transpordivahend, asetamise täpsus, liikumiskiirus, asend ja töötingimused [4].

Meetod on kättesaadav BAuA kodulehelt (*baua.de*), eestikeelsed töölehed puuduvad – vajalik on inglise või saksa keele oskus [5], [6].

**SoMm26** lisa 1 „Juhend terviseriski hindamiseks raskuste käsitsi teisaldamisel“ on välja antud sotsiaalministri 27. veebruari 2001. a määruse nr 26 „Raskuste käsitsi teisaldamise töötervishoiu ja tööohutuse nõuded“ lisana (SoMm26) ja on kehtestatud töötervishoiu ja tööohutuse seaduse § 9 lõike 3 ja § 131 lõike 10 alusel. Määrust kohaldatakse raskete, massiga 5 kg ja enam esemete käsitsi teisaldamisele töökohas eesmärgiga vähendada töötajate luu- ja lihaskonna ülekoormuse ja seljavigastuse riski. Määruse lisas oleva juhendi alusel hinnatakse töötajate raskuste käsitsi teisaldamise terviseriski, mille alusel suunatakse töötajad tervisekontrolli.

Artiklis võrreldi eeltoodud meetodite riski hindamise erisusi.

## MEETODITE VÕRDLUS

Vaadeldud meetodites arvutatakse riskihinne järgnevate valemitega:

$$r_{KIM-LHC_{2001}}; r_{SoMm26}; r_{EAWS_{PP}} = (m + a + o) \times t, \quad (1)$$

$$r_{KIM-LHC_{2019}}; r_{KIM-PP_{2019}} = (m + h + a + o + e) \times t, \quad (2)$$

$$r_{KIM-PP_{2001}} = (m + a + o + e) \times t, \quad (3)$$

$$r_{EAWS_{LHC}} = (m + a) \times t, \quad (4)$$

kus  $r$  – riski hinne;

*m*- teisaldatava raskuse massi hinne;  
*h*- haaramis- ja liigutamismugavuse hinne;  
*a*- kehaasendi hinne;  
*o*- töökeskkonna tingimuste hinne;  
*e*- töökorralduse ja -sisu hinne;  
*t*- aja hinne.

Meetodites hinnatavate tegurite (valemid 1–4) hindevahemikud (arvud) ja hinnangu astmed (kuidas arväärtusi jaotatakse) on väga erinevad (tabel 1).

**Tabel 1.** Hindamise skaala - vahemik ja (hinnangu astmed); tegurid valemitest 1-4

**Table 1.** Rating scale- span and (levels); factors from equations 1-4

Meetod	Tegur						
	<i>m</i>	<i>h</i>	<i>a</i>	<i>o</i>	<i>e</i>	<i>t</i>	<i>r</i>
KIM-LHC <sub>2019</sub>	1...100 (9)	0...4 (3)	0...20(10) + 6 (4-2)	0...5 (11)	0...4(3)	1...10 (13)	<20...≥100(4)
KIM-LHC <sub>2001</sub>	1...25 (5)	-	1...8 (4)	0...2 (3)	-	1...10 (6)	<10...50 (4)
SoMm26	1...10 (5)	-	1...8 (4)	0...1 (2)	-	1...8 (5)	10...50 (4)
EAWS <sub>LHC</sub> *	1...25 (9)	-	1...8 (4)	-	-	1...15 (10)	0...>50 (3)
EAWS <sub>pp</sub> *	0,5...8 (9)	-	1...8 (4)	0...8 (6)	-	1...15 (10)	0...>50 (3)
KIM-PP <sub>2019</sub>	1...100(10)	0...3 (5)	3...8 (3)	0...6 (5)+ 0...25 (3)+ 0...3 (7)	0...4 (3)	1...10 (13)	<20...≥100(4)
KIM-PP <sub>2002</sub>	0,5...5 (7) 1...4(3)**	-	1...8(4)	0-8 (4)	1-4 (4)	1...10 (6)	<10...≥50(4)

\* EAWS lubab vahehindeid interpoleerida; \*\*Iohistamise korral

### *m*- teisaldatava raskuse massi hinne

**KIM-LHC<sub>2019</sub>** raskuste teisaldamise hinded antakse massile 3 kg kuni > 40 kg nii meeste kui ka naiste puhul, suurim võimalik hinne teisaldatavale massile antakse meestel, kui mass ületab 40 kg ja naistel, kui mass ületab 30 kg.

**KIM-LHC<sub>2001</sub>** hinded antakse massile <10 kg kuni ≥ 40 kg meeste ja <5 kg kuni ≥ 25 kg naiste puhul. Juhendis ei ole kirjas, mis massist alates hakatakse raskuste teisaldamist hindama. Hinnatakse raskuse käsitlemise keskmist väärtust. Hindamisel tuleb arvestada tegelikku koormust ehk massi, mida töötaja peab tegelikult teisaldama. Kasti kallutamisel arvestatakse massikoormuseks 50%.

**SoMm26** hinded antakse samasuguste massivahemike järgi nagu KIM-LHC<sub>2001</sub>, kuid on järgmised erinevused:

1. Teisaldatava raskuse massi hindamisel meeste puhul hindamise aluseks on hinde üks kriteerium 10 kg ja hinde kaks kriteerium 10–20 kg. Kui vaadata hindamisskaalat, siis juhendi järgi ei saa hinnata raskust alla 10 kg, kuigi raskuste massiga 5 kg ja enam esemete käsitsi teisaldamist peaks hindama ka meeste puhul, kui arvestada SmMm26 §1. Samuti on võimalik hinnata raskust massiga 10 kg massi hindega 1 või 2.
2. Teisaldatava raskuse suurim võimalik hinne on 10, KIM-LHC 2019 annab samale väärtusele 25.

3. Puuduvad erisused massihinde andmisel, kui tegemist on kallutamise või tõmbamise-lükkamisega. Kui KIMil on eraldi tööleht tõmbamise/lükkamise hindamiseks, siis SoMm26 seda sätestatud ei ole.

**EAWS<sub>LHC</sub>** hinnatakse teisaldatava raskuse massi vahemikus 3 kg kuni > 40 kg meeste ja 2 kg kuni >25 kg naiste puhul.

**EAWS<sub>PP</sub>** hinnatakse nii teisaldatava raskuse massi kui ka teisaldamisel kasutatavaid vahendeid (kärud, käsikahveltõstukid), kolm erinevat varianti. Hinnatavad massid jäävad vahemiku <50 kg kuni 1250 kg meeste ja <40 kuni 960 kg naiste puhul.

**KIM-PP<sub>2019</sub>** hinnatakse teisaldatava raskuse massi <50 kg kuni >1300 kg ja teisaldamiseks kasutatavat veovahendit (kärud, konteinerid, rippteed), 10 erinevat varianti.

**KIM-PP<sub>2002</sub>** hinne kujuneb nii raskuse kui ka transpordivahendi hindamisel. Hinnatakse erinevalt rullitavaid raskusi, kärusid, konteinerid pöörlevate ratastega, fikseeritud ratastega kärusid ja rippes teisaldavaid raskusi vahemikus <50 kg kuni 1000 kg. Lisaks hinnatakse lohistamist <10 kg kuni >50 kg.

### ***h- haaramis- ja liigutamismugavuse hinne***

**KIM-LHC<sub>2019</sub>** hindab, kas saab raskust teisaldada mõlema käega või koormus on ebaühtlaselt jaotunud.

**KIM-LHC<sub>2001</sub>** eraldi raskuste käsitlemistingimusi ei hinda, kuid töötingimuste hindamise juures hinnatakse ka koormuse ebaühtlast jaotumist.

**KIM-PP<sub>2019</sub>** hindab tegureid, mis pärsivad liigutamismugavust, näiteks ebasobivad või puuduvad käepidemed, pidurite puudumine kaldteel liikumisel, ebasobivad või defektsed rattad.

### ***a - kehaasendi hinne***

**KIM-LHC<sub>2019</sub>** hindab asendeid seismisel, kummardamisel, kükitamisel, põlvitamisel ja käte asendit, sh raskuse kaugust kehast. Istumisasendite hindamine puudub ja sellist raskuste teisaldamise asendit peaks vältima. Hinnatakse nii tõstmise alg- kui ka lõppasendit. Täiendavad hinded saadakse keha pööramise/kallutamise, laadimiskese kauguse, käte kõrguse alusel. Hindamiskriteeriumid on välja toodud piktogrammiga ja täiendavad hindamispunktid kirjeldusena.

**KIM-LHC<sub>2001</sub>** hindamisel on nii kirjeldus kui ka piktogrammid, kus vaadeldakse:

1) keha painutamist, sh kükitamisel ja põlvitamisel; 2) koormuse asetsemist keha kauguse suhtes; 3) keha pööramist 4) raskuste tõstmist õlgadest kõrgemale.

**SoMm26** ja **KIM-LHC<sub>2001</sub>** kehaasendi hindamine on analoogne, kuid lisatud on raskuste teisaldamise hindamine istuvas asendis.

**EAWS<sub>LHC</sub>**, **EAWS<sub>PP</sub>** hindamiskriteeriumid on välja toodud nii kirjelduse kui ka piktogrammiga, vaadeldes keha painutamist, pööramist, põlvitamist, kükitamist ja teisaldatava raskuse kaugust kehast.

**KIM-PP<sub>2019</sub>** kasutamisel tuleb arvesse võtta tüüpilist kehaasendit, mis määratakse piktogrammide ja täpsustava kirjelduse abil. Kui kehaasend on liikumahakkamisel, peatumisel ja manööverdamisel suurema kaldega, siis seda võetakse arvesse ebasoodsates töötingimustes.

**KIM-PP<sub>2002</sub>** hindab peamist asendit nii piktogrammide ja ka teksti alusel, vaadeldes keha kaldenurka ja pööramist.

***o - töökeskkonna tingimuste hinne***

**KIM-LHC<sub>2019</sub>** hindab käe pööramist, raskuse haaramismugavust, ilmastikutingimusi, ruumitingimusi, riietust, raskuse hoidmise ja kandmise vahemaad.

**KIM-LHC<sub>2001</sub>** hindab, kas on piisavalt ruumi töö tegemiseks, kehaasendi stabiilsust, mis sõltub põranda olukorrast, ja lisaks arvestatakse raskuse ebaühtlast jaotumist kandmisel.

**SoMm26** hindab, kas ruumi on piisavalt töö tegemiseks või mitte ning kehaasendi stabiilsust.

**EAWS<sub>pp</sub>** hindab põranda seisundit, kuna sellest sõltub veeretakistus.

**KIM-PP<sub>2019</sub>** hindab käigutee olukorda. Lisapunktid tulevad tee kaldenurga suurusest ja treppidel liikumisest. Täiendavalt hinnatakse raskuse lükkamiseks kasutatavat suurenenud jõudu, sagedasi tempomuutusi või suunamuutusi teisaldamisel, teisaldamiskiirust ja tee täpse järgimise vajadust.

**KIM-PP<sub>2002</sub>** hindab käigutee olukorda, sh kaldenurka, veovahendi rataste laagrite seisukorda ja treppidel liikumist.

***e - töökorralduse ja -sisu hinne***

**KIM-LHC<sub>2019</sub> ja KIM-PP<sub>2002</sub>** hindavad, kui suure osakaalu moodustab raskuste teisaldamine üldisest tööajast.

**KIM-PP<sub>2002</sub>** hindab raskuse asetamise täpsust ja teisaldamistöö kiirust.

***t - aja hinne***

**KIM-LHC<sub>2019</sub>** hindab teisaldamise sagedust (vahemik 5...2500 korda tööpäevas).

**KIM-LHC<sub>2001</sub>** hindab tõstmise sagedust ( $<10$  kuni  $\geq 1000$  korda tööpäevas), hoidmise aega ( $<5$  min kuni  $\geq 4$  h) ja kandmise teepikkust ( $<300$  m kuni  $\geq 16$  km). Hindamise aluseks saab valida ühe tegevuse.

**SoMm26** hindab tõstmise sagedust (10 kuni  $\geq 500$  korda tööpäevas) ja hoidmise või kandmise aega (30 min kuni  $\geq 5$  h). Hindamise aluseks saab valida ühe tegevuse.

**EAWS<sub>LHC</sub>** hindab tõstmiste sagedust vahemikus (5 kuni 3000 korda tööpäevas), hoidmise kestust (2,5 min kuni  $\geq 4$  h) ja kandmise vahemaad (300 m kuni  $\geq 16$  km).

**EAWS<sub>pp</sub>** hindab eraldi lühemate lükkamiste või tõmbamiste sagedust (vahemik 5...3000 korda) ja pikema lükkamise või tõmbamise vahemaad (300 m kuni  $\geq 16$  km).

**KIM-PP<sub>2019</sub>** hindamise aluseks saab valida kas läbitud vahemaa (40 m kuni 20 km) või teisaldamiseks kuluva aja ( $\leq 1$  min kuni 8 h).

**KIM-PP<sub>2002</sub>** eristab lükkamise ja tõmbamise ülesannete hindamist teisaldamise vahemaa alusel. Kui vahemaa on  $\leq 5$  m, siis hinnatakse sagedust ( $<10$  kuni 1000 korda tööpäevas), aga kui vahemaa ületab 5m, siis hinnatakse summaarset vahemaad ( $<300$  m kuni 16 km). Valida saab emba-kumba.

## JÄRELDUSED

KIM-LHC<sub>2001</sub>, KIM-PP<sub>2002</sub> ja SoMm26 on välja töötatud enam samal ajal. EAWS on välja töötatud 2009. aastal ja KIM-LHC<sub>2019</sub> ning KIM-PP<sub>2019</sub> on arendamisel.

Analüüsid eelpool nimetatud meetodeid oli näha, mida uuem on meetod, seda selgemalt ja täpsemalt on võimalik hinnata raskuste käsitsi teisaldamisest tulenevat riski. Uuemates meetodites on vähem ebatäpsemaid ehk eeldustel põhinevaid parameetreid ja antavad hinnad ühesemalt mõistetavad, mis vähendab tõlgendamisvõimalustest tulenevaid vigu.

Eeltoodud hindamismeetodid on soovituslikud, va SoMm26, mille järgi toimub Eesti ettevõtetes raskuste teisaldamisega seotud terviseriski hindamine töötervishoiuarsti juurde suunamiseks.

Antud meetodite võrdlusele tuginedes peaks kaaluma SoMm26 uuendamist, kuna selles on mõningad puudused:

1. Parameetrite hindamine on mitmeti mõistetav.
2. Puudub raskuste lükkamise või tõmbamise hindamise võimalus.

SoMm26 uuendamisel peaks eelnevalt analüüsima, kas hindamismeetod arvestab määruse 26 § 5. ohutegureid, mida tööandja peab arvestama raskuste teisaldamisega seotud riski hindamisel. Soovitav on välja töötada ka hindamismeetodi rakendamise juhend, kus oleks lahti kirjutatud, mida peab arvestama hindamisel.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] K. Schaub, G. Caragnano, B. Britzke, and R. Bruder, "The European Assembly Worksheet," *Theor. Issues Ergon. Sci.*, vol. 14, no. 6, pp. 616–639, 2013, doi: 10.1080/1463922X.2012.678283.
- [2] I. Lavatelli, K. Schaub, and G. Caragnano, "Correlations in between EAWS and OCRA Index concerning the repetitive loads of the upper limbs in automobile manufacturing industries," *Work*, vol. 41, no. SUPPL.1, pp. 4436–4444, 2012, doi: 10.3233/WOR-2012-0743-4436.
- [3] A. Klusmann *et al.*, "Validation of newly developed and redesigned key indicator methods for assessment of different working conditions with physical workloads based on mixed-methods design: a study protocol," *BMJ Open*, vol. 7, no. 8, p. e015412, Aug. 2017, doi: 10.1136/bmjopen-2016-015412.
- [4] U. Steinberg, "New tools in Germany: development and appliance of the first two KIM ('lifting, holding and carrying' and 'pulling and pushing') and practical use of these methods," *Work*, vol. 41, no. SUPPL.1, pp. 3990–3996, 2012, doi: 10.3233/WOR-2012-0698-3990.
- [5] BAuA/ASER/ArbMedErgo/ebus, "Key Indicator Method for assessing and designing physical workloads with respect to manual Lifting , Holding and Carrying of loads  $\geq 3$  kg," 2019. [Online]. Available: [https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Physical-workload/Key-indicator-method/pdf/KIM-LHC-Lifting-Holding-Carrying.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Physical-workload/Key-indicator-method/pdf/KIM-LHC-Lifting-Holding-Carrying.pdf?__blob=publicationFile&v=4). [Accessed: 31-Mar-2020].
- [6] BAuA/ASER/ArbMedErgo/ebus, "Key Indicator Method for assessing and designing physical workloads with respect to manual Pushing and Pulling of loads," 2019. [Online]. Available: [https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Physical-workload/Key-indicator-method/pdf/KIM-PP-Pushing-Pulling.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.baua.de/EN/Topics/Work-design/Physical-workload/Key-indicator-method/pdf/KIM-PP-Pushing-Pulling.pdf?__blob=publicationFile&v=4). [Accessed: 31-Mar-2020].

## TOOTMISTEHNIKA

### Membraanmootori silindrimahu muutuse modelleerimine

R. Allmägi

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

**Abstract.** The aim of this article is to construct a model to describe the change of volume in the cylinder of a membrane engine. The models are based on equations to describe the geometrical relations of traditional piston-in-cylinder reciprocating engines. The methods to find the geometrical relations of reciprocating engines can be used since both engines share similarities in the connecting rod and crank mechanism. After some modifications it was possible to derive equations to model the stroke and change of cylinder volume for any crank angle degree of a membrane engine.

**Keywords:** Internal combustion engine, modelling, reciprocating engine, membrane engine,

### SISSEJUHATUS

Kaasajal pannakse erinevates valdkondades aina rohkem rõhku õhusaaste vähendamisele. Üheks suureks saasteallikaks on tarnspordis kasutatavad sisepõlemismootorid, mille keskkonnasõbralikumaks muutmiseks arendatakse pidevalt välja uusi tehnoloogiaid [1]. Enimlevinud sisepõlemismootoriks maismaa- ja meretranspordis on kolbmootorid, mille kütuseks on valdavalt fossiilsed vedel- või gaaskütused. Arendatavate tehnoloogiate põhisuundadeks on kütusekulu vähendamine ja mootorite kasuteguri suurendamine [1]. Silindri geomeetria ja selle muutumine tööprotsessi käigus on määrava tähendusega põlemisprotsessi kulgemisel mootoris. Seetõttu on uuritud ka madala või muutuva surveastmega mootoreid [2]. Põlemisel tekib mootoris palju soojuskadusid, mis on sisepõlemismootori üks suurimaid kasuteguri vähendajaid. Uurimise all on näiteks kütuse pihustamise optimeerimine kasuteguri parendamiseks [3].

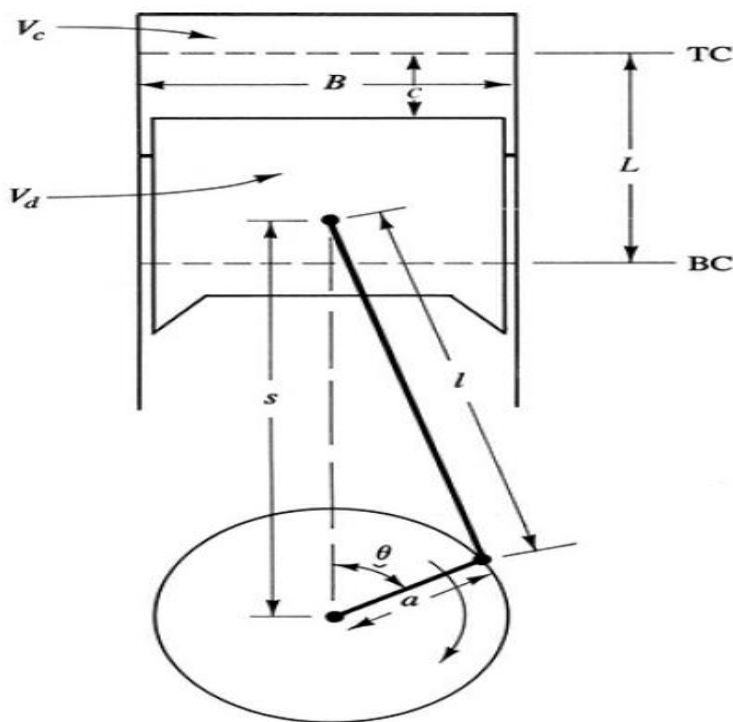
Kolbmootori Silindri geomeetria seisukohast on oluline uurida kolvi asendamist näiteks membraaniga, mida käsitletakse ka käesolevas artiklis. Traditsioonilise kolbmootori baasil loodud sisepõlemismootoris on silindris kolvi asemel elastne membraan, mille üheks eeliseks on vähendatud hõõrdekaod mootori töötamisel. Silindri geomeetriat on võimalik mõjutada vāntmehhanismi detailide pikkuse ja asendi muutmisega mootoris. Parim viis kirjeldada nende muutuste tulemusi on luua mudel, mille sisendiks on kõik vāntmehhanismi kuuluvate detailide mõõtmed ja asend teineteise suhtes. Väljundiks on võimalik saada graafikuid, mis kujutavad valitud sõlmpunktide asendit, teekonda ning kiirust [4]. Simulatsioonide ja mudelite loomine on mootorite arendamisel üks olulisi meetodeid, mis võimaldab väiksemate kulutustega kontrollida teooriate tõesust [5]. Käesolevas artiklis on kirjeldatud uudse sisepõlemis-mootori tööprotsessi modelleerimist. Artikli eesmärk on membraan-



mootori silindri mahumuutust iseloomustava mudeli loomine. Matemaatiliste mudeli loomisel võeti aluseks tavapärase kolbmootori silindri mahumuutust kirjeldavad mudelid. Mudeli väljatöötamisel tuli täiendada olemasolevaid matemaatilisi mudeleid. Artiklis väljatöötatud mudeli abil saab kirjeldada uudse mootori silindri töömahu muutust vastavalt vääntõlli pöördenurgale.

### MATERIAL JA METOODIKA

Membraanmootor on projekteeritud suuremalt jaolt neljataktilise kolbmootori baasil, seega on kasutusel tööprotsessi kirjeldamiseks sarnased meetodid.

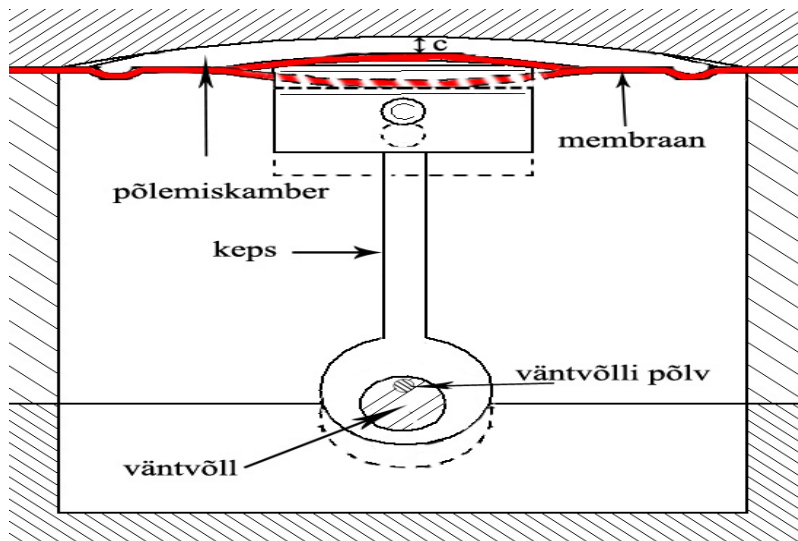


Joonis 1. Kolbmootori geomeetria skeem. kus: **a**- vääntõlli põlve raadiust, **l**- kepsu pikkus, **s**- kolvisõrme ja vääntõlli põlve telgede vahe, **B**- silindri läbimõõt, **V<sub>d</sub>**- silindri töömaht, **V<sub>c</sub>**- põlemiskambri maht **c**- kolvikaugus ülemisest surnud seisust **TC**- (ÜSS) kolvi ülemine surnud seis, **BC**- (ASS) kolvi alumine surnud seis, **L**- kolvikäik, **θ** – Vääntõlli pöördenurk [6].

Figure 1. Geometry of piston engine where **B** - bore, **L** - stroke, **l** - connecting rod length, **a** - crank radius, **θ** - crank angle, **V<sub>d</sub>** - displaced or swept volume, **V<sub>c</sub>** - clearance volume, **s** - stroke, **c** - piston clearance from its top center position, **TC** - top dead center and **BC** - bottom dead center [6].

Membraanmootori puhul puudub kolb, mis silindris liigub. Membraan on kinnitatud jäigalt mootori põlemiskambri põhja, ning on tsentrist ühendatud kepsuga.

Membraani läbipainde toimel suureneb vahemaa  $c$  jooniselt 2, mille toimel hakkab liikuma vântmehhanism.



Joonis 2. Membraanmootori geomeetria skeem ülemises surnud seisus, kus punasega on kujutatud membraan põlemiskambri põhjas ja katkend joonega vântvõlli alumine surnud seis.

Figure 2. Geometry of membrane engine at top dead center where the membrane at the bottom of the combustion chamber is marked red and bottom dead center of the crankshaft is marked with a dashed line.

Membraanmootori silindri mahumuutuse kirjeldamine matemaatiliste mudelitega algab vântmehhanismi mõõtmete ja teiste omaduste määramisest. Tabelis 1 on esitatud mudeli loomiseks vajalikud suurused.

Tabel 1. Membraanmootori tähtsamad parameetrid.

Table 1. Important parameters of the membrane engine.

Surveaste	1,126:1
kepsupikkus (l)	0,051 m
vända põlve raadius (a)	0,0025 m
kolvikäik (L)	0,005 m
põlemiskambri maht ( $V_c$ )	$3,60006 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$
membraani elastse ülemise osa läbimõõt	0,06 m
membraani elastse alumise osa läbimõõt	0,07374 m

Vântmehhanismi liikumise ja üksikosade geomeetriliste seoste põhjal on võimalik modelleerida kõigi mootori detailide liikumine ja liikumise suund. Mehhanismi liikumine ajas määratakse vântvõlli pöördenurkades, algusega kolvi ülemisest surnud seisust enne sisselasketakti algust [6]. Kuna mootoris on tööorganiks põlemiskambri membraan (kolbmootoris silindris kolb), siis on oluline mudelit luues teada membraani elastse osa kaugust  $c$  põlemiskambrist. kolvisõrme ja vântvõlli telje vaheline kaugus vântvõlli pöördenurga  $\theta$  suhtes on leitav valemiga 1 [6].

$$s(\theta) = a \cos \theta + \sqrt{l^2 - a^2 \sin^2 \theta} \quad (1)$$

kus  $s(\theta)$  on kolvisõrme ja vāntvõlli telje vaheline kaugus;  
 $a$  - vāntvõlli põlve raadiust;  
 $\theta$  - vāntvõlli pōördenurk kraadides;  
 $l$  - kepsu pikkus.

Membraani kaugus põlemiskambri põhjast vastavalt vāntvõlli pōördenurgale võimaldab modelleerida silindri ruumala muutuse. Traditsiooniline kolbmootori puhul kasutatakse silindrimahu arvutamisel vastavalt vāntvõlli pōördenurgale järgnevat valemit 2 [6].

$$V(\theta) = V_c + [a + l - s(\theta)] \cdot \frac{\pi \cdot B^2}{4} \quad (2)$$

kus  $V(\theta)$  on silindri maht;  
 $V_c$  - põlemiskambri maht;  
 $B$  - silindri läbimõõt.

### TULEMUSED JA ARUTELU

Sisestades valemis 1 arvutatud membraanikäigu vārtusi  $s$  valemisse 2, saame leida silindrimahu igale vāntvõlli asendile nelja tōōtakti vārtel. Erinevalt kolbmootorist, sõltub membraanmootori põlemiskambri maht membraani geomeetriast. Ülemises surnud seisus hōivab membraan osa põlemiskambrist (joonis 2 punane pidev joon), mistōttu tuleb silindrimahu arvutustel arvestada, et põlemiskambri maht on esimese 180° vāntvõlli pōördenurga puhul väiksem. Membraani kõrgendatud osa ruumala, mida vōib lihtsustatult käsitleda lõigatud koonuse ruumalana, on leitav valemiga 3 [7].

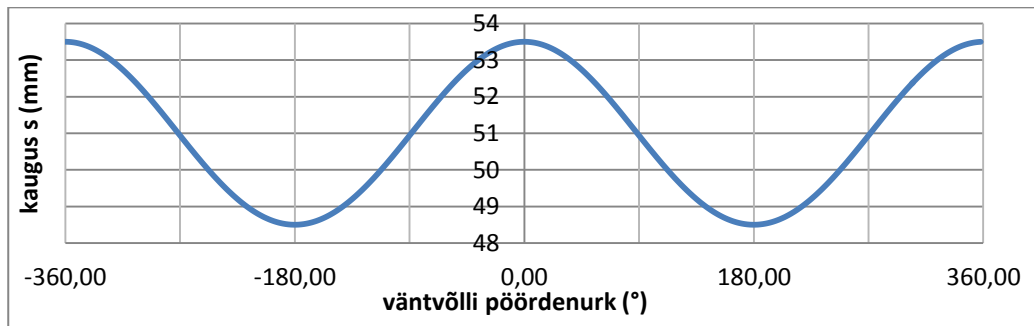
$$V_m = \frac{\pi \cdot h}{12} \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d) \quad (3)$$

kus  $V_m$  on lõigatud koonuse ruumala;  
 $h$  - koonuse kõrgus,  
 $D$  - koonuse alumine diameeter;  
 $d$  - koonuse ülemine diameeter.

Ühendades Valemid 2 ja 3, saame valemi 4, millega on vōimalik leida membraanmootori silindri tōōmaht vastavalt igale vāntvõlli pōördenurgale.

$$V(\theta) = (V_c - V_m) + \frac{\pi \cdot (a + l + s(\theta))}{12 \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d)} \quad (4)$$

Asetades valemisse 1 vāntvõlli pōördenurgad vahemikus -360° kuni 360°, saame kahe vāntvõlli täisringi kōik vārtused  $s$ . Esitades tulemused graafikuna, saame joonisel 3 kujutatud funktsiooni.

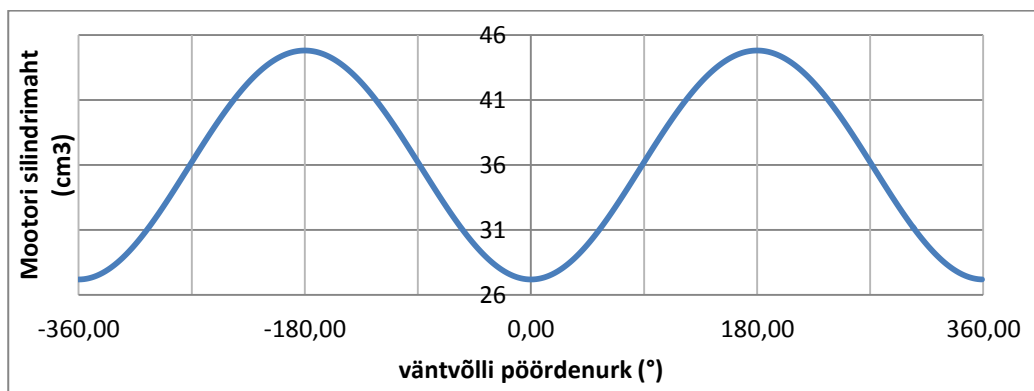


Joonis 3. Membraanmootori membraanisõrme ja väärtvõlli telje vahelise kauguse  $s$  muutumine erinevatel väärtvõlli pöördenurkadel.

Figure 3. The stroke of membrane engine with respect to crank angle degree.

Joonisel 3 selgub, et väärtmehhanismi liikumise toimet pole membraaniasendi ja väärtvõlli pöördenurga suhe lineaarne, pigem meenutab funktsioon sinusoidi. Muutes mehhanismi detailide pikkust, muutub ka valemiga 1 leitud funktsiooni kuju, näiteks väärtvõlli ekstsentrilisust suurendades, muutub ka funktsiooni amplituud suuremaks. Antud mootori puhul on minimaalne membraanisõrme ja väärtvõlli vaheline kaugus 48,5 mm ja maksimaalne kaugus ülemises surnud seisus 53,5 mm.

Asetades valem 1 väärtusi valemisse 4, samuti vahemikus  $-360^\circ$  kuni  $360^\circ$ , saame joonisel 4 funktsiooni, mis kujutab mootori silindri töömahu mahumuutust kahe mootori väärtvõlli täisringi puhul.



Joonis 4. Membraanmootori silindrimahu muutus erinevatel väärtvõlli pöördenurkadel.

Figure 4. The change in volume in the cylinder of the membrane engine.

Suurendades väärtvõlli ekstsentrilisuse  $a$  väärtust, suureneb ka alg- ja lõppmahu vahe. Võrreldes jooniseid 3 ja 4, on nad justkui horisontaaltelje suhtes peegeldatud. See tuleneb sellest, et kui membraan on kaugeimas punktis väärtvõllist, on silindri maht väikseim. Antud mootori puhul on minimaalne maht  $27,2 \text{ cm}^3$  ja maksimaalne maht alumises surnud seisus on  $44,8 \text{ cm}^3$ . Mida pikem on membraani käik ja seeläbi mahumuutus silindris, seda kõrgem on mootori surveaste. Surveaste on suurima ja väikseima mahu suhe. Üldiselt on kolbmootorite puhul teada, et mida kõrgem surveaste, seda suurem kasutegur mootoril on, samas tekitab see mootoris suuremaid

koormusi [1]. Samuti tekib kõrge rõhu all rohkem ohtlikke heitgaase, mille vältimiseks uuritakse võimalusi kasutada vähendatud või muudetava surveastmega mootoreid [2].

## JÄRELDUSED

Kolbmootori tööprotsessi kirjeldavat valemit on võimalik kohandada membraanmootori silindri mahumuutuse modelleerimiseks. Mudeli abil on võimalik kirjeldada membraani alla liikudes madalama rõhuga keskkonna teket, mille toimele saab atmosfäärirõhul olev gaaside segu silindrisse siseneda. Samuti membraani üles liikudes suurenevat silindrirõhku väheneva mahu tõttu, mille toimele avatud väljalaske klapist väljutatakse silindris olnud gaaside segu. See mudel loob aluse modelleerimise jätkamiseks. Näiteks on nüüd võimalik leida gaaside massivool sisse- ja väljalasketaktidel. Samuti on mahumuutus silindris oluline suletud kambris toimuvate rõhumuutuste edasisel modelleerimisel. Gaaside massivooluhulk ja rõhk põlemiskambris on omakorda olulisteks parameetriteks põlemisprotsessi kirjeldamisel. Kirjeldatud mootori surveaste on oluliselt väiksem tüüpilise kolbmootori omast, mis võimaldab uurida madala surveastme kasutamist sisepõlemismootoritel.

Mudelid on olulisteks vahenditeks, et kirjeldada teoreetiliselt membraanmootoris toimuvaid protsessi. Ilma teoreetilise baasita on oluliselt keerulisem luua näiteks reaalseid prototüüpe. Samuti vähendab modelleerimine oluliselt lõplikule versioonile eelnenud ebaõnnestunud prototüüpide arvu.

## KASUTATUD KIRJANDUS

**Taylor, Alex M.K.P.** Science review of internal combustion engines. s.l. : Elsevier Ltd., 2008. pp. 4657-4667. Vol. 36.

**Parlak A., Yasar H., Sahin B.** Performance and exhaust emission characteristics of a lower compression ratio LHR Diesel engine. 2003. pp. 136-175. Vol. 44.

**3. Fussey P., Limebeer D.** Optimal combustion control with application to engine design and development. 2019. Vol. 92.

**Aan A., Heinloo M., Aarend E., Mikita V.** Analysis of four-stroke cycle internal combustion v-engine in mathcad enviroment. Tallinn : Institute of Technology, Estonian University of Life Sciences, 2012.

**Teodosio L., Tufano D., Bozza F.** Development of a virtual calibration methodology for a downsized SI engine by using advanced valve strategies. 2017. pp. 923-930. Vol. 126.

**Heywood, John B.** Internal Combustion Engine Fundamentals. 2nd. s.l. : McGraw-Hill Education, 2018. lk 1702.

**Gomeringer R., et al.** Tabellenbuch Metall. 47. Haan-Gruiten : Europa-Lehrmittel, 2017. lk 487.

## Geomeetria tolerantside rakendamine tootearenduses

S. Kukk, T. Leemet

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

**Abstract.** The main purpose of this article is to give overview of using GD&T (geometric dimensioning and tolerancing) in product development procedure. The GD&T is important in two reasons. Firstly, it's a good communication system to define details very precisely. Secondly, it helps to consider the function of the details in measuring process. In product development it's important to determine right datums to define the detail, form correct models and drawings with right GD&T symbols and consider the knowledge of previous projects documentation. In conclusion the usage of GD&T in product development helps to define requirements for different details and with correct dimensioning tolerances reduces time for producing and measuring.

**Keywords:** GD&T, product development, design, dimensions, project documentation

### SISSEJUHATUS

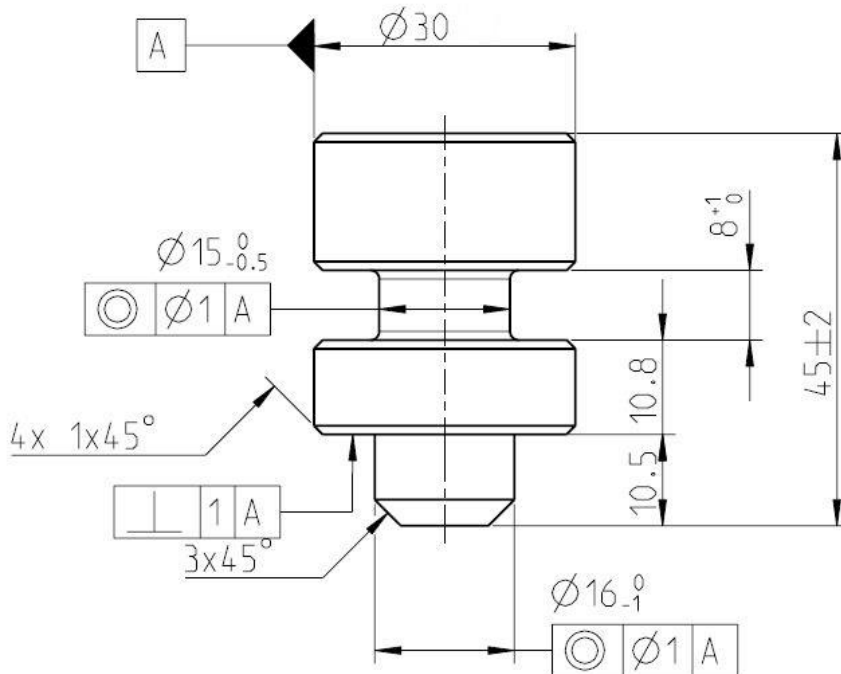
Geomeetria tolerantsid on reeglite, sümbolite ja kokkulepete süsteem, mille eesmärgiks on tagada erinevate masinaelementide vahetatavus ja korrektne funktsioneerimine ning määrata piirväärtused toodetud komponentide geomeetria [1]. Geomeetria tolerantside tehnoloogial on kaks olulist komponenti. Esiteks on see täpne kommunikatsioonivahend kasutades matemaatiliseks määratlemiseks sümbolite, reeglite ja definitsioonide komplekti. Antud süsteem on üheselt arusaadav kõikjal üle maailma, sest selle spetsifikatsioonid on määratletud standardiga ISO 1101:2017. Teiseks on see disainilahendus, mis võimaldab inseneril määratleda detaile vastavalt kliendi nõudmistele ja funktsioonidele, võimaldades samas tootmisel maksimaalseid hälbeid. [1, 2].

Võiks arvata, et selle tehnoloogilise lahenduse rakendamine ka tootearendusel on küllaltki levinud, kuid tegelikult saavad vähesed ettevõtted aru kui väärtuslik see tehnoloogia võib olla. Geomeetria tolerantsid ei saa halba disaini parendada, kuid selle nõuetekohane rakendamine juba tootearenduse käigus aitab vähendada tootmiskulusid ning tagab kvaliteetsed lõpptooted [3]. Käesolevas artiklis tuuakse näidistoote põhjal välja need geomeetria tolerantside rakendamise aspektid, mis ilmsid detailide projekteerimisel ja mõõtmestamisel.

### METOODIKA

Tootearendusel tuleks geomeetria tolerantse arvestada juba projekti lähtetingimuste ülevaatamisel ning eelprojekteerimisel. Eriti oluline on siinkohal lähete ehk baaselementide määramine, mille järgi geomeetria tolerantse hinnata. Kõige kõrgema funktsionaalsusega baaselement on selline, mis määrab kõige paremini ära detaili asendi lõpptoote küljes [2]. Baaselemente võib ühel tootel olla ka mitu, kuid kõige primaarsem on see, mis kontrollib toote asendit kõige suurema arvu vabadusastmete juures. Lisaks peab olema primaarseks baaselemendiks valitud selline pind, mille saab

näiteks koordinaatmõõteseadmes asetada töölauale selliselt, et oleks tagatud mõõtmise korrektsus. Järgnevalt on joonisel 1 välja toodud näidistootes oleva treidetaili mõõdud koos baaselemendi ning geomeetria tolerantsidega.



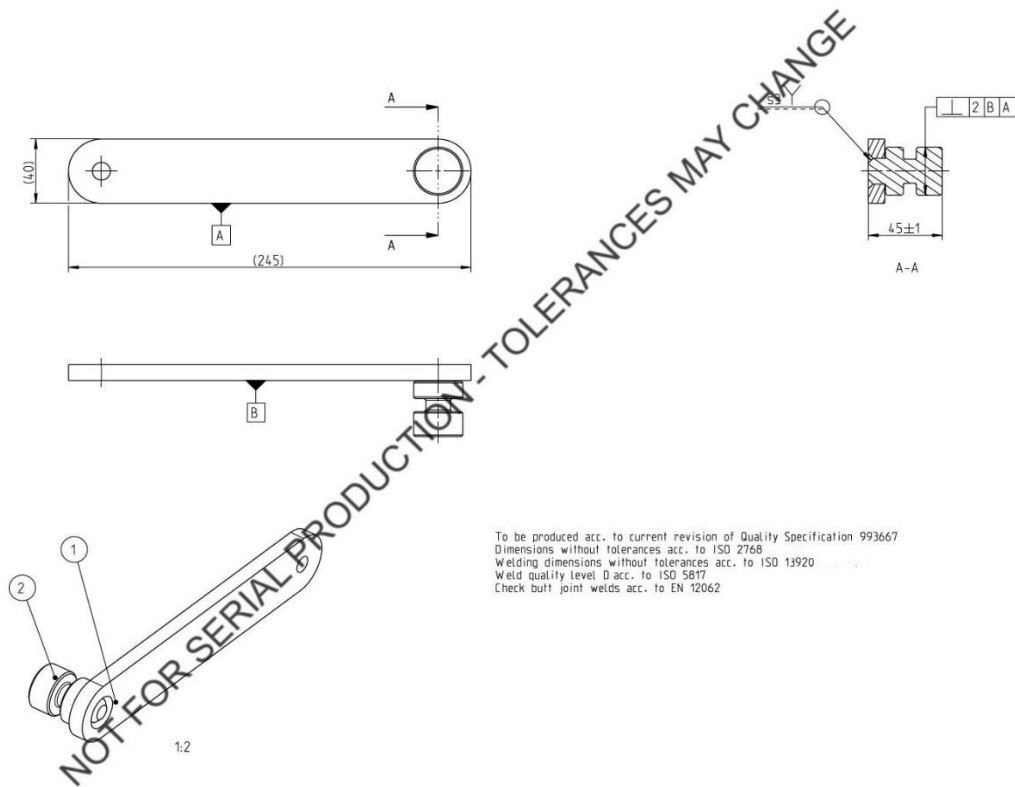
**Joonis 5.** Detail 763385 koos mõõtude ning geomeetria tolerantsidega.

**Figure 1.** Detail 763385 with measures and GD&T.

Detaili mõõtmestamisel on arvestatud tulevase funktsiooniga ning ka koostoimega teiste detailidega. Lähtuvalt nendest tingimustest on määratud ka mõõtude tolerantsid. Märkimata tolerantsid on määratud standardiga ISO 2768. Geomeetria tolerantside määramisel lähtuti sellest, et detail valmistatakse 30 mm kalibreeritud ümarmaterjalist AISI 316. Toormaterjali omapärast tulenevalt valiti baaselemendiks detaili telg, mis on joonisel kujutatud punktiirjoonena. Baaselement tähistatakse joonisel ruudukujulises kastis oleva suurtähe ja joonega, mis on antud juhul ühendatud detaili mõõtejoonega. Detaili talitlusnõuetest tulenevalt määrati kahele pinnale kontsentrisuse nõue ehk tolereeritavate elementide telg peab ühtima baaselemendi A teljega. Lisaks peeti vajalikuks märkida ühele pinnale risttelgsuse nõue lähte A suhtes.

Lisaks baaselementide valikule ning nende korrektsele tähistamisele joonisel on tänapäeva tootmise mõistes oluline ka see, et toodetavast detailist oleks olemas CAD-mudel, mis on vajalik masintöötlemise programmide koostamiseks. Korrektne mudel ja joonis täiendavad üksteist ning aitavad detaile üheselt mõistetavalt defineerida. Sageli on uue toote väljaandmisega seotud lühikesed tähtajad ning seetõttu ei jõuta korrektseid jooniseid vormistada vaid pannakse rõhku mudeli õigsusele. Sel juhul tuleks arvestada jooksvalt nii mõõtude kui ka geomeetria tolerantsidega ning teha mudel selline, et see vastaks nominaalväärtustele. Täpsemad kvaliteedinõuded ning tolerantsid tuleb välja tuua esialgsel joonisel koos lisainfoga nagu on kujutatud joonisel

2. Joonisel olevad kirjalikud märkused on ettevõtte suhtluskeelest tulenevalt ingliskeelsed.



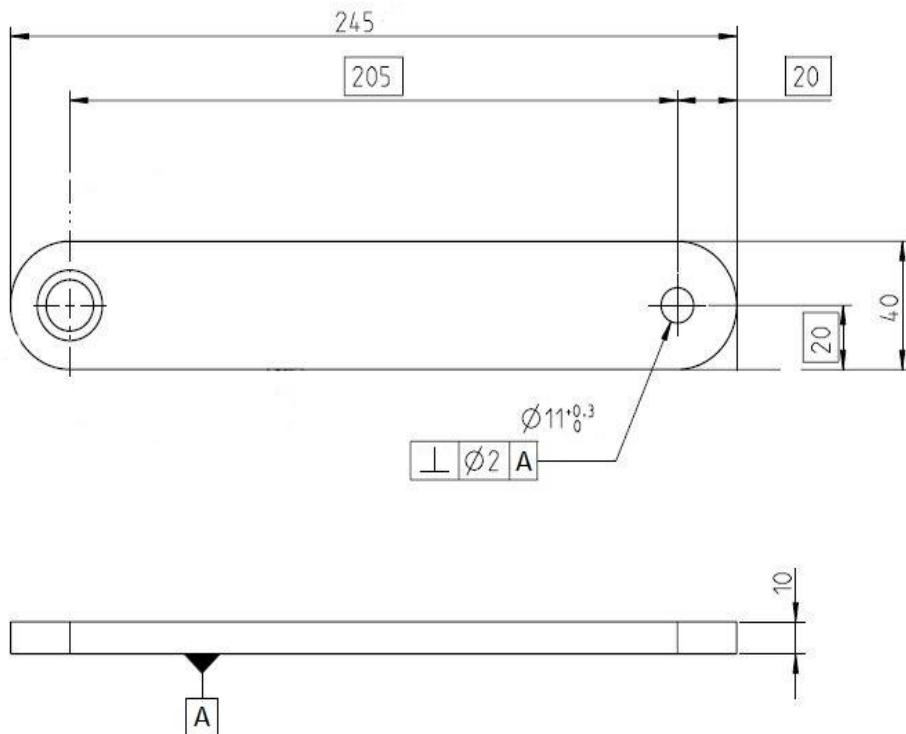
**Joonis 2.** Alamkoost 763368 koos mõõtude, geomeetria tolerantside ning vesimärgiga.

**Figure 2.** Subassembly 763368 with measures, GD&T and watermark.

Joonisele tuleks kindlasti üheselt mõistetavalt märkida kas vesimärgiga või märkusega kirjanurgas, et joonis ei ole mõeldud seeriatootmiseks, sest tolerantsid ning kvaliteedinõuded võivad täpsustada peale prototüübi valmimist. Kokkuvõttes on nii joonis kui ka mudel vajalikud kvaliteedi hindamiseks ja tootmisprobleemide analüüsimiseks.

Tootearenduse seisukohast on oluline ka eelnevate projektide dokumentatsiooni ja andmete nõuetekohane säilitamine. Seeläbi on lihtsam uute projektide juurutamisel kasutada tehtud tööde käigus saadud andmeid ja teadmisi nii toodete disaini kui ka mõõtmestamise kohta. Kahtlemata on iga uus toode või projekt oma spetsiifiliste lähtetingimuste ja nõuetega, kuid kvaliteedijuhtimise seisukohast on põhimõttelised seosed ülekantavad ja rakendatavad iga uue projekti puhul. Antud artikli käigus analüüsitava toote ühe detaili puhul oli teada, et see tuleb laserlõigata 10 mm AISI 316 lehtmaterjalist. Kõnealune detail on kujutatud joonisel 3.





**Joonis 3.** Detail 763384 koos mõõtude ning geomeetria tolerantsidega.

**Figure 3.** Detail 763384 with measures and GD&T.

Kuna materjal kuumeneb lõikamise käigus, siis mõjutab see märgatavalt ka detaili tasapinnalisust. Talitlusomadustest tulenevalt on vajalik, et 11 mm ava oleks detaili tasapinnaga risti. Seetõttu valiti baaselemendiks üks detaili pind ning märgiti avale vastav geomeetria tolerants. Detaili tasapinnalisus pärast lõikamist tagatakse lisa sirgestamisega. Kuumusest tulenev geomeetria muutus ning sellest tulenevad geomeetriliste tolerantside määramise nüansid ja lisatööde vajadus olid ülevõetavad analoogse detaili tootmisdokumentatsioonist. Seetõttu kulus detaili joonise koostamisele ning geomeetria tolerantside märkimisele kordades vähem aega.

### TULEMUSED JA ARUTELU

Käesolevas artiklis toodi välja need geomeetria tolerantside tehnoloogilised nüansid, mida tuleks arvestada tootearenduse protsessis. Täpsemalt kirjeldati näidistootete detailide baaselementide valimise metoodikat, joonise ja mudeli koostõju toote kvaliteedile ning varasemate projektide tehnilise dokumentatsiooni rakendamist uute toodete analüüsimisel. Töö praktilise osa käigus selgus ka see, et võrreldes joonisel sõnaliselt kirjeldatud nõuetega kulus asjakohaste geomeetria tolerantside märkimisele kordades vähem aega. Geomeetria tolerantside süsteemi juurutamine tootmisettevõtte insener-tehnilise kollektiivi igapäevasesse töösse võib tunduda esialgu suure väljakutsena, kuid pikemas plaanis aitavad korrektselt tähistatud joonised vähendada erinevate nõuete kooskõlastamisele kuluvat aega ning seisakuid tootmises.

## JÄRELDUSED

Töö käigus välja toodud protsessi kirjelduste alusel saab järeldada, et geomeetria tolerantsidega arvestamine juba tootearendusel on oluline selleks, et üheselt defineerida detailidele esitatavad nõuded. Koos matemaatiliselt defineeritud tolerantsitsoonidega on nende andmete põhjal võimalik analüüsida erinevate tootmise eripärade mõju lõpptootete enne detailide reaalset tootmist. Selleks, et geomeetrilistest tolerantsidest oleks maksimaalselt kasu, on oluline, et ettevõtte insener-tehniline personal omaks vastavaid pädevusi selle rakendamisel ja oskusi asjakohaste järelduste tegemiseks. Tootmiskulude vähendamise ja täpsemate lõpptoodete huvides on geomeetriliste tolerantside määramine iga tootearenduse oluline osa.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] N. Suga, P. Rollings. Metrology handbook. Lamport Golbert Limited. 397 lk. 2016.
- [2] R. Laaneots, K. Raba. Mõõtmestamine ja tolereerimine. TTÜ kirjastus. 431 lk. 2017.
- [3] A. Krulikowski, J. R. Roll. Avoiding Design Problems with Geometric Dimensioning and Tolerancing [Online]. Available: <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21829369/avoiding-design-problems-with-geometric-dimensioning-and-tolerancing>. [Accessed 01.04.2020]

# Trendid põllumajandusmasinate elektrifitseerimises

A. Mirk, J. Olt

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

**Abstract.** Due to agreement in EU by year 2050 all economy in EU should be neutral of greenhouse gases that go to atmosphere. Different economic sectors are using several ways to accomplish that goal. One way to accomplish that in agriculture is to electrify different agricultural machineries. This research main aim is to give overview of electrification process in agricultural machineries.

**Keywords:** agricultural machinery, electrification, electric drive vehicle, zero emission, power engineering.

## SISSEJUHATUS

Kliimaneutraalsuse poole pürgivad maailmas enamus arenenud riike. Euroopa Liit on seadnud eesmärgiks saavutada kliimaneutraalne majandus Euroopa Liidu üleselt aastaks 2050 [1]. Kliimaneutraalsus on olukord, kus atmosfääri ei paisata rohkem ega vähem kasvuhoonegaase kui ökosüsteem siduda jõuab.

Kliimaneutraalsuse saavutamisel on oma roll pea kõigil majandussektoritel ja laiemalt ühiskonnal. Üheks suureks majandussektoriks, millel on oma roll kliimaneutraalsusel, on põllumajandus. Lahendusi kasvuhoonegaaside vähendamiseks antud sektoris on erinevaid ja üheks võimalikuks lahenduseks on erinevate põllumajandusmasinate elektrifitseerimine.

Põllumajandustraktorite puhul toimub enamasti jõuülekanne haakeseadmele veotišli, käitusvõlli ja hüdraulilise haakekolmnurga abil. Seega on traktorite puhul 3 põhilist suunda, mida on võimalik kas täielikult või osaliselt elektrifitseerida. Uurimistöö eesmärgiks on kaardistada põhilised suunad põllumajandusmasinate elektrifitseerimisel, mille alusel oleks võimalik alustada erinevate põllumajandusmasinate projekteerimist elektrifitseerimise suunal.

## METOODIKA

Esmalt teostati laialdasem valdkonnauuring erinevate teadus- ja ajakirjandusartiklite põhjal. Antud uuringu põhjal saadi esmane ülevaade põllumajandusmasinate elektrifitseerimise olemusest ja suundadest.

Järgnevalt teostati uuring täpsemalt juba olemasolevatele või prototüüpimisel olevatele lahendustele. Toodi välja ülevaatlik informatsioon võimalike lahenduste kohta ja ka eeldatav heitgaaside vähenemine elektrifitseerimise tulemusena võrreldes traditsioonilise põllumajandustraktoriga.

Lõpetuseks vaadeldi suuremaid probleemkohti seoses põllumajandusmasinate elektrifitseerimisega ja pakuti välja lahendusi antud probleemide lahendamiseks.

### Tulemused ja arutelu

Esimesed katsetused elektriliste põllumajandusmasinate tootmiseks ulatuvad rohkem kui 120 aasta tagusesse aega. Järk-järgult koos teaduse arenguga on projekteeritud erinevaid lahendusi ja kui võrrelda tänapäevaseid trende ajalooliste lahendustega, siis suuremal või väiksemal määral on antud lahendused kõik juba ära katsetatud. Joonisel 1. on välja toodud ajajoon koos erinevate elektrifitseerimiste lahendustega erinevate tootjate poolt [9].

Joonis 1. Traktorite elektrifitseerimise ajajoon erinevate tootjate poolt [9].

Mark	Zimmermann company	Brutschke	Major Andrew McDowall	Ransomes MG tracklayer	Allis-Chalmers	Choremaster tractor	John Deere 7530 E-premium	Belarus	New Holland NH2	John Deere Sesam	Fendt E100	Rigitrac SKE50
	1894	1900	1925	1949	1950	1983	2009	2009	2009	2016	2017	2018
Ajajoon aastates												
Traktori tüüp:	Kaabel		Aku		Kütuseelement			Hübriid				

Ühe võimaliku lahendusena põllumajandusmasinate elektrifitseerimise puhul kasutatakse erinevate abisüsteemide ja elektrifitseeritud tööriistade energiavajaduse tagamiseks generaatorit. Sellisel juhul kasutatakse sisepõlemismootori abisüsteemide käitamiseks elektrimootoreid. Elektrimootorite energiavajadus saadakse ühelt generaatorilt, mida käitatakse samalt sisepõlemismootoritelt ja osadel juhtudel saadakse täiendav energia ka pidurdusel saadavast energiast. Nendeks abisüsteemideks võivad olla kompressorid, jahutusventilaatorid, veepumbad. Kuna süsteemid on sisepõlemismootorist eraldatud, on võimalik neid käivitada ainult vajadusel ja seeläbi saadakse üldine energia kokkuhoid.

Vaatame näiteks traktorit *John Deere 7530 E-Premium*'i, mille puhul kasutatakse elektrilisi ajameid jahutusventilaatorite ja kompressorite juures. Kuna generaatorina kasutatakse kolmefaasilist 20 kW generaatorit, siis on võimalik kasutada ka traktorit elektrigeneraatorina. Kui *John Deere*'i puhul sai generaator käituse mootori hammasvöö kaudu, siis osade tehnoloogiate puhul kasutatakse generaatorite käitamiseks turbiine, mis saavad oma energia heitgaasidest [3].

Tabel 1. Traktori *John Deere 7530 E-Premium* kütusekulu ja proportsionaalselt vastav heitgaasi koguse vähenemine võrreldes traditsioonilise põllumajandustraktoriga[3].

Tööde tüüp	Kütusekulu/heitgaaside vähenemine võrreldes traditsioonilise põllumajandustraktoriga
Kultiveerimine	4%
Haagise transport	16%

Algselt protüübina, aga eeldatavasti seeriatootmisse mineva *Belarus 3023* näol on tegemist põllumajandustraktoriga, millel kasutatakse küll sisepõlemismootorit, aga käigukasti ja ülekande asemel kasutatakse elektrimootorit. 220 kW diiselmootorist tuleva võimsuse abil käitatakse 172 kW elektrigeneraator. Kogu see energia on suunatud harjavabasse elektrimootoris, mille abil liigutatakse põllumajandustraktorit. Ka esimene käitusvõll saab väändemomendi elektrimootori abil, mis võimaldab seadistada väga täpselt ja mootori vāntvōlli pōõretest sõltumatult käitusvōlli pōõrlemissagedust. Väidetavalt annab harjavaba mootori kasutamine ülekandele ka väga pika hooldusvaba eluea. Tootja poolseks elueaks on lausa 30000 tundi. Samuti annab antud ülekanne suuremat vāändemomenti nii algstardi kui ka tööprotsessi juures ja antud momendid ületavad ka hūdro-mehaanilist CVT käigukasti. Kuna antud põllumajandustraktori generaator suudab toota kolmefaasilist elektrivoolu koguvōimsusega 172 kW, siis saab põllumajandustraktorit väga edukalt ka kasutada tagavaratoitena suurte farmide vōi tootmiste puhul [4].

Tabel 2. Traktori *Belarus 3022* kütusekulu ja proportsionaalselt vastav heitgaasi koguse vähenemine võrreldes traditsioonilise põllumajandustraktoriga [4].

Tööde tüüp	Kütusekulu/heitgaaside vähenemine võrreldes traditsioonilise traktoriga
Kultiveerimine	15%
Haagise transport	30%

Üha jõudsamalt tulevad turule ka 100% elektrienergiat kasutatavad põllumajandustraktorid. Ühe võimalusena kasutatakse liitiumioonakusid, mille abil saadakse kogu tööks vajalik energia. On olemas põllumajandustraktor *Fendt e100*, mille võimsuseks on 50 kW. *Fendt e100* on varustatud 100 kWh akuga, mis võimaldab põllumajandustraktoriga tööd teha hinnanguliselt 5 tundi. *Fendt e100* pakub peale elektriväljavõtete, mida on haakeriistade puhul võimalik kasutada, ka standardseid hūdroväljavõtteid [6].

Sarnane lahendus on ka olemas ettevōtte *Rigitrac Traktorenbau AG* poolt. Nende poolt toodetakse põllumajandustraktorit *Rigitrac SKE50*. Tegu on 50 kW võimsusega traktoriga, mis saab oma toite liitiumioonakudelt, mille mahutavus on 80 kWh ja mille mahutuvusest peaks piisama 5 tunni töö tegemiseks. *Rigitrac SKE50* puhul kasutatakse 4 elektrimootorit. Ühte elektrimootorit esisillaajamis, teist elektrimootorit tagasillaajamis ja kahte elektrimootorit jõuvōtvōllide kaitamiseks. Peale elektriväljavōtete on olemas ka hūdroväljavōtted haakeriistade tarbeks [7].

Liitiumioonakudega põllumajandustraktorite puhul on üheks piiravaks kriteeriumks soetusmaksumus. Siiani ei ole väga täpseid rahalisi numbreid üksi tootja

otseselt vältja toonud, aga hinnanguline soetushind jääb nii *Fendt e100* kui ka *Rigitrac SKE50* puhul 3-kordseks võrreldes samaväärse traditsioonilise põllumajandustraktoriga. Samuti määrab suurt rolli ka hetkel kasutatavate akude suur mass, mis määrab ära ka nende tarktorite võrdlemisi väikese võimsuse. Näiteks 300 kW võimsusega traktori juures kaaluksid ainult akud hinnaguliselt 15000 kg [8].

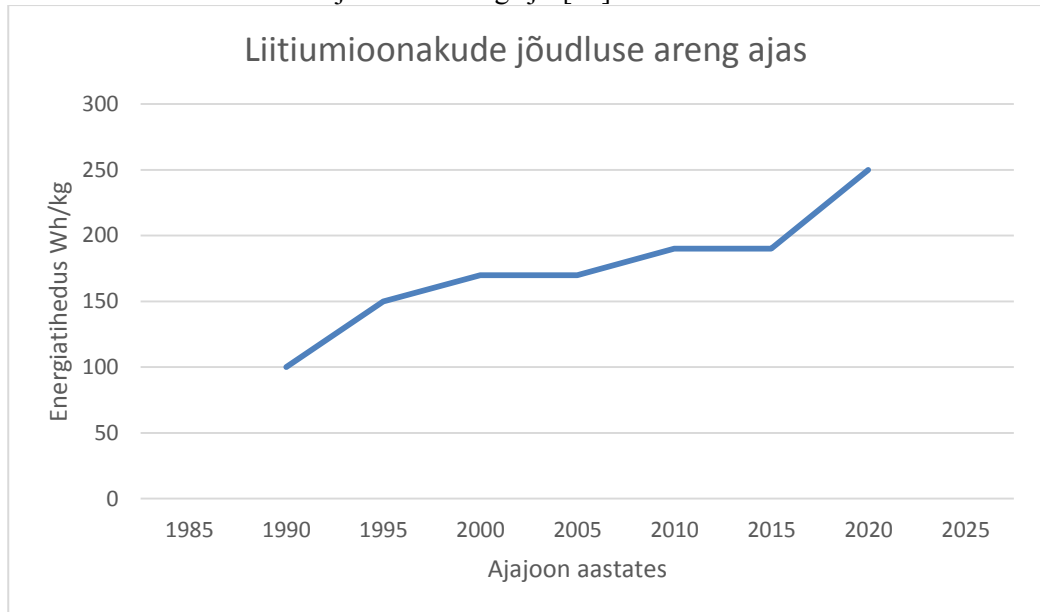
Prototüüpimisel on *John Deere*'i *GridCon*, mis on samuti 100% elektrienergiat kasutav põllumajandustraktor, mis aga ei saa oma energiavajadust liitiumioonakudelt vaid hoopis otse elektrivõrgust. Elektrivõrgust põllumajandustraktorile toite edastamiseks kasutatakse automaatset kaablisüsteemi, mis võimaldab saada toidet kuni 1 km kauguselt. Hetkel on prototüüpimisel oleva põllumajandustraktori võimsuseks 500 kW [5].

Tabel 3. *Fendt e100*, *Rigitrac SKE50*, *John Deere GridCon* kütusekulu ja proportsionaalselt vastav heitgaasi koguse vähenemine võrreldes traditsioonilise põllumajandustraktoriga.

Tööde tüüp	Kütusekulu/heitgaaside vähenemine võrreldes traditsioonilise traktoriga
Kultiveerimine	100%
Haagise transport	100%

2019. aastal said teadlased John B. Goodenough, M. Stanley Whittingham ja Akira Yoshino Nobeli preemia liitiumioonakude arendamise eest. Koostöös teadlastega toodeti 1991. aastal esimene laetav liitiumioonaku ja see toodeti ettevõtte *Sony* poolt [10]. Peale seda on olnud pidev arendustöö uute ja efektiivsemate keemiliste ühendite loomisel ja see areng jätkub pidevalt. Üks Nobeli preemia laureaate John B. Goodenough on otsinud erinevaid lahendusi väljaspool liitiumioonakusid ja aastal 2017 tutvustas lahendust, mis on oma jõudluse poolest 3 korda võimsam liitiumioonakudest ja märgatavalt kiirema laadimisega [11]. Joonisel 2. on välja toodud liitiumioonakude jõudluse areng läbi aja [12].

Joonis 2. Liitiumioonakude jõudluse areng ajas [12].



### JÄRELDUSED

Lahendusi põllumajandusmasinate elektrifitseerimisel on erinevaid ja suuremal või väiksemal määral annavad need ka soovitud tulemuse, milleks on nii vähenenud kütusekulu kui ka vähenenud kasvuhoonegaaside paiskamine atmosfääri.

100% elektritoitega põllumajandustraktorite puhul on lahendusi nii laetavate liitiumioonakudega kui ka otsetoitega elektrivõrgust. Mõlemal on aga omad eelised ja puudused. Laetavate liitiumioonakudega põllumajandustraktorite puhul on üheks suuremaks puuduseks soetushind ja ka akude suur mass, mis määrab ära võrdlemisi väikese võimsuse. Elektrivõrgust otsetoitega põllumajandustraktorite juures on küll võimalik saavutada suuri võimsusi, aga vajalik on siiski lähedal asuv elektrivõrk, mis seab omakorda piirangud töödeks. Mõlemal juhul on aga tegu seadmetega, mis on oma olemuselt heitgaasivabad.

Liitiumioonakudega põllumajandustraktorite juures oleks üheks lahenduseks akude massi vähendamiseks ja seeläbi võimsuse suurendamiseks akuvahetussüsteem. Sellise lahenduse puhul oleks võimalik kasutada väiksema mahutavusega akusid kuna ei oleks vajalik kasutada põllumajandustraktorit järjest nii pikal perioodil. Samal ajal kui üks komplekt akusid on töös, saab teine või ka kolmas komplekt akusid olla laadimispunktis ja vajadus pikemateks laadimispausideks puudub. Selline lahendus eeldaks küll ka elektrivõrgu lähedust või mobiilse laadimispunkti olemasolu.

Kui võtta arvesse liitiumioonakude tehnoloogist arengut läbi ajaloo, siis võib eeldada ka selle arengu jätkamist tulevikus. Tegu võib olla küll hoopis uute keemiliste ühenditega ja mitte enam liitiumioonakudega, aga energiatihedus ajas kindlasti kasvab. Seetõttu võib eeldada, et kui hetkel on akutoitega traktorite võimsused 50-70 kW piires, siis 10 aasta pärast on sama akumassiga võimalik toota 120-150 kW võimsusega traktoreid, mis juba on kindlasti suutelised pakkuma konkurentsi hetkel enamuses kasutusel olevatele sise põlemismootoriga traktoritele. Ja arendades välja võimaluse

kiireks akuvahetussüsteemiks, mis lisaks täiendavalt jõudlust ja vähendaks seisuaga, siis on akutoitega põllumajandusmasinate arengusuund põllumajandusmasinate elektrifitseerimisel kõige perspektiivikam.

### KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Keskonnaministeerium, „Valitsus toetab Euroopa kliimaneutraalsuse saavutamist aastaks 2050”, [Online], Available: <https://www.envir.ee/et/uudised/valitsus-toetab-euroopa-kliimaneutraalsuse-saavutamist-aastaks-2050>. [Accessed 15.03.2020]
- [2] Euroopakomisjon, „Pikaajaline 2050. aasta strateegia“, [Online], Available: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050\\_et](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_et). [Accessed 15.03.2020]
- [3] Dipak S. Khatawkar, P. Shaji James, D. Dhalin, „Modern trends in farm machinery-electric drives: A review“, International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, [Online], Available: <https://www.ijcmas.com/8-1-2019/Dipak%20S.%20Khatawkar,%20et%20al.pdf>. [Accessed 20.03.2020]
- [4] Ken Wilson, „Belarus goes electric“, [Online], Available: <https://www.farmweekly.com.au/story/5670924/belarus-goes-electric/>. [Accessed 20.03.2020]
- [5] Rene Koerhuis, „John Deere: ‘We believe in electric tractors. 100%’”, [Online], Available: <https://www.futurefarming.com/Machinery/Articles/2020/3/John-Deere-We-believe-in-electric-tractors-100-552869E/>. [Accessed 21.03.2020]
- [6] Peter Hill, „This is the Fendt e100 Vario electric tractor“, [Online], Available: <https://www.futurefarming.com/Machinery/Articles/2018/1/This-is-the-Fendt-e100-Vario-electric-tractor-4419WP/>. [Accessed 21.03.2020]
- [7] Frits Huiden, „Rigitrac introduces 100% electric tractor“, [Online], Available: <https://www.futurefarming.com/Machinery/Articles/2019/1/Rigitrac-introduces-100-electric-tractor-378935E/?intcmp=related-content>. [Accessed 21.03.2020]
- [8] Kelvin Heppner, „Fendt debuts all-electric compact tractor“, [Online], Available: <https://www.realagriculture.com/2017/11/fendt-debuts-all-electric-compact-tractor/>. [Accessed 21.03.2020]
- [9] Michael Williams, „Machinery Milestones: Electric tractor power“, [Online], Available: <https://www.fwi.co.uk/machinery/technology/machinery-milestones-electric-tractor-power>. [Accessed 01.04.2020]
- [10] Zhao Liu, „The History of the Lithium-Ion Battery“, [Online], Available: <https://www.thermofisher.com/blog/microscopy/the-history-of-the-lithium-ion-battery/>. [Accessed 01.04.2020]



[11] Olof Ramström, „Scientific Background on the Nobel Prize in Chemistry 2019 LITHIUM-ION BATTERIES“, [Online], Available: <https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/advanced-chemistryprize2019.pdf>. [Accessed 01.04.2020]

[12] United Nations Industrial Development Organization and PricewaterhouseCoopers, „Best Practices in Electric Mobility“, [Online], Available: <https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-09/EMG%20Discussion%20Paper.pdf>. [Accessed 01.04.2020]

## Reaktsiooniajad robotiseeritud tööroku väljalasketakti leidmiseks

*Reaction times for robot cell cycle time analysis*

P. Pihlakas, I. Virro

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

**Abstract.** The purpose of this paper was to carry out a research to find an amount of time is required for physical processes like fix and release part into industrial robot end of arm tooling (gripper). The research is based on authors work in ramping up robotized manufacturing cells and was conducted on previously collected information in video format. In the study, time between robot arriving and stopping in placing or realising position and starting again after grasping or releasing part was measured and analysed. As a result of this study reaction times for three types of grippers: vacuum, parallel and jaw, was found. Additionally, fastest gripper type was found turning the results analysis.

**Keywords:** cycle time, industrial robot, simulation, productivity, optimization, reaction time.

### SISSEJUHATUS

Tänapäeval on tarbekaupade valmistamisel tööstusautomaatikal märkimisväärne roll. Üheks tööstusautomaatika komponendiks on tööstusrobot, mis definitsiooni-kohaselt on minimaalselt kolme vabadusastmega, ümberprogrammeeritav, mitmeotstarbeline manipulaator [1]. Töötlevas tööstuses on mitmeid keerulisi tööoperatsioone, mis vajavad meisterlikkust ning oskusi, kuid on siiski kindlaksmääratud ja korduvad, mida seetõttu saaks teha tööstusrobotid [2]. Samas on investeringu tasuvuse hindamiseks vajalik tootmisepoolne sisend protsessi kiirus ehk tootlikkus [3].

Tööstusautomaatikat tootvad ettevõtted seisavad tihti silmitsi olukorraga, kus automaatika süsteemi tellija soovib enne tellimuse esitamist saada infot projekteeritava automaatikasüsteemi tootlikkuse kohta. Seetõttu on pakkumise faasis vaja määrata süsteemi väljalasketakt, teisisõnu tsükliäeg. Keerulisemate protsesside korral koostatakse tsükliaja määramiseks tööprotsessi simulatsioon.

Simulatsioon on protsessi kirjeldamine arvutiprogrammis, mille koostamisel kasutatakse muutujatena reaalse protsessi parameetreid [4]. Simulatsiooni tulemuse täpsus sõltub ühest küljest protsessi detailisusest ning teisest küljest programmi koostamisel kasutatavatest andmetest teostatava protsessi kohta. Mida täpsemalt on koostatud simuleeritava manipulaatori programm ning mida kvaliteetsemad on andmed, seda täpsem on simulatsiooni tulemus [5]. Simulatsiooni koostamiseks sobivad simulatsiooniprogrammid, mida enamik robotitootjaid pakuvad oma robotisüsteemide simuleerimiseks. Tavaliselt on tegemist 3D keskkonnaga, näiteks KUKA SimPro [6], Fanuc ROBOGUIDE [7], ABB RobotStudio [8], kus programmi pakkuja poolt on eelprogrammeeritud teegid, mis sisaldavad robotite ja enamlevinud lisaseadmete (perifeeria) 3D mudeleid. Programmi kasutaja koostab töökoha asendiplaani ja varustab programmi süsteemi lähteparameetritega (muutujatega).

Lähteparameetriteks on robotiprogramm koos vajaliku loogikaga ja haaratsi massi info (mass, inertsomendid). Nende parameetrite põhjal simuleerib programm manipulaatori (tööstusroboti) trajektoore reaalsete manipulaatori liikumiskiirustega. Mõõtes manipulaatori liikumiseks kulunud aega, on võimalik leida osa tsükliajast. Et leida täielik protsessi tsükli aeg ja seega süsteemi tootlikkus, on vaja lisada füüsikaliste protsesside nagu näiteks manipuleeritava toote haaratsisse fikseerimiseks kuluv aeg või haaratsis oleva toote vabastamiseks kuluv aeg. Tihti põhinevad need ajakulud integraatorite kogemuslikel hinnangutel [9].

## MATERJAL JA METOODIKA

Käesoleva uurimuse eesmärgiks on leida toote fikseerimiseks ja vabastamiseks kuluv aeg. Uurimus tehti autori poolt robotiseeritud tootmisoperatsioonide põhjal. Käiku võtu ajal lisati roboti juhtsüsteemi programm, millega mõõdeti kogu töötsükli kestvust. Esmase käiku võtu järgselt filmiti kogu tööoperatsioon. Seega on olemas sobiv videomaterjal, töötsükli ajaline kestvus ning on teada haaratsi tööpõhimõte ning konstruktsioon ja manipuleeritava toote info.

Videomaterjali analüüsiks kasutati vabavaralist, avatud lähtekoodiga multimeediamängijat *VLC media player* [10], millele lisati aja mõõtmiseks laiendus *Time v3.2* [11]. Laiendus *Time* kuvab video taasesitamisel kulunud aega millisekundilise täpsusega.

Meetodi kontrolliks mõõdeti kogu töötsüklile kuluv aeg video pealt ning võrreldi seda robotiseerimise käigus roboti juhtsüsteemi lisatud tsükliaja mõõtmise programmi tulemustega.

Töö ettevalmistamisel valiti välja analüüsiks sobiv videomaterjal. Valikukriteeriumiks oli kogu toote haaramise ja vabastamise protsessi piisavalt detailne vaadeldavus. Võimalusel arvestati ka kogu töötsükli vaadeldavusega, seda selleks, et võrrelda video analüüsi tulemusi roboti programmi programmeeritud ajamõõtmise tulemustega.

Videos leiti mõõdetava protsessi algus ja lõpp. Täpse hetke leidmiseks liiguti videos kaader kaadri haaval, fikseeriti protsessi alguse ja lõpu aeg ning leiti nende vahe, mis oli reaktsiooniajaks.

Toote fikseerimise alguseks loeti hetke, kui manipulaator oli jõudnud haaramispositsioonile ning ei liikunud enam. Toote fikseerimise lõpuks loeti hetke, millal manipulaator hakkas pärast toote fikseerimist koos tootega liikuma. Toote vabastamise alguseks loeti hetke, kui manipulaator oli jõudnud toote vabastamise positsioonile ja ei liikunud enam. Toote vabastamise lõpuks loeti hetke, kui manipulaator hakkas pärast toote vabastamist uuesti liikuma.

## TULEMUSED JA ARUTELU

Mõõtmine teostati mitme erineva tsükli jooksul. Mõõtetulemus, mis oli teistest suurusjärgu võrra erinev, hüljati. Seejärel arvutati valimi keskmine  $\bar{x}$ , mis loeti antud operatsiooni ajaliseks kestvuseks.

Keskmine arvutati valemiga [12]:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (01)$$

kus  $x_n$  – n-is mõõtmistulemus;  
 $n$  – mõõtmiste arv.



Mõõtmistulemused on kokku võetud ja esitatud tabelis 1.


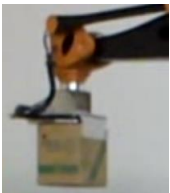




Haaramistsükli kestvust mõjutas toote haaramise eelne positsioneerimine. Näiteks konveieril oleva toote haaramine kestis tsentreerivate abiseadmete tõttu kauem kui vabalt virnast haarates. Toote haaramise kestvust mõjutavad ka tootmisprotsessi iseärasused. Näiteks, kui haaratav toode takerdub koostamisel kasutatavasse rakisesse, on vaja toote kätte saamiseks kasutada erirežiimi, mis on aeglasem, kui konkreetse haaratsiga võimalik oleks. Selline tulemus on näiteks puitkilbi haaramisel (tabel 1, mõõtmine nr. 8).

Meetodi kontrolliks tehtud kogu tsükliaja võrdluses oli videolt mõõdetud kogu tööprotsessi tsükli aeg manipulaatori juhtsüsteemis olevate taimeritega mõõdetud tsükli ajast ligikaudu 10% pikem. Erinevus on märkimisväärne, kuid arvestades, et reaktsiooniajad ise on suuruselt väikesed, jääb erinevus samuti suuruselt väikeseks. Lisaks on viga reaktsiooni aega suurendav, mis lisab simulatsiooni varutegurit, mitte ei muuda simulatsiooni tulemust optimistlikumaks.

Tabel 1. Toote fikseerimisele ja vabastamisele kuluv aeg vastava haaratsi korral

*Table 1. Fixing and releasing time with corresponding gripper*

Nr	Vaade haaratsile	Reaktsiooniajad	
1		Tööorgan: greifer tüüpi pneumaatiliste ajamitega haarats Haaratav toode: kotti pakitud puistematerjal	
		Toote fikseerimise aeg $t_f$ , s	Toote vabastamise aeg $t_v$ , s
		0,949	0,677
2		Tööorgan: greifer tüüpi pneumaatiliste ajamitega haarats Haaratav toode: kotti pakitud puistematerjal	
		Toote fikseerimise aeg $t_f$ , s	Toote vabastamise aeg $t_v$ , s
		0,422	0,433

3		Tööorgan: paralleeltüüpi pneumaatiliste ajamitega haarats Haaratav toode: pappkast	
		Toote fikseerimise aeg $t_f$ , s	Toote vabastamise aeg $t_v$ , s
		2,541	0,938
4		Tööorgan: paralleeltüüpi pneumaatiliste ajamitega haarats Haaratav toode: pappkast	
		Toote fikseerimise aeg $t_f$ , s	Toote vabastamise aeg $t_v$ , s
		1,44	1,223
5		Tööorgan: Iminappadega, ejektoriga vaakumhaarats Haaratav toode: Puitliist (kask)	
		Toote fikseerimise aeg $t_f$ , s	Toote vabastamise aeg $t_v$ , s
		0,184	0,201
6		Tööorgan: Iminappadega, ejektoriga vaakumhaarats Haaratav toode: Seest õõnes (kartong-kärjega täidetud, spooniga kaetud) riuliplaat	
		Toote fikseerimise aeg $t_f$ , s	Toote vabastamise aeg $t_v$ , s
		0,197	0,15
7		Tööorgan: Iminappadega, ejektoriga vaakumhaarats Haaratav toode: Mööbliplaat	
		Toote fikseerimise aeg $t_f$ , s	Toote vabastamise aeg $t_v$ , s
		0,251	0,167
8		Tööorgan: Kärgmaterjal padjaga, ejektoriga vaakumhaarats Haaratav toode: Laudisest puitkilp	
		Toote fikseerimise aeg $t_f$ , s	Toote vabastamise aeg $t_v$ , s
		4,266	0,34

Uuringu käigus leitud tulemusteks on:

1. Toote fikseerimisele vaakumhaaratsiga kulub minimaalselt 0,3 sekundit;
2. Toote vabastamisele vaakumhaaratsist kulub minimaalselt 0,2 sekundit;
3. Toote fikseerimisele paralleelhaaratsiga kulub minimaalselt 3 sekundit;
4. Toote vabastamisele paralleelhaaratsist kulub minimaalselt 1 sekund;
5. Toote fikseerimisele greifer-tüüpi haaratsiga kulub minimaalselt 1 sekund;
6. Toote vabastamisele greifer-tüüpi haaratsist kulub minimaalselt 0,7 sekundit.

## JÄRELDUSED

Uuringu valim põhineb ainult autori programmeeritud robotiseeritud töörakudel, mistõttu ei ole valim väga representatiivne ning seega tuleb suhtuda töö tulemustesse kõrgendatud kriitikaga ning kasutada riskide maandamiseks sobivaid varutegureid. Samas täidab töö tulemus tühimiku, mis aitab edaspidi simulatsioone koostades tugineda konkreetsetele mõõtmistulemustele.

Edaspidi võiks jagada tootmisoperatsiooni suuremateks etappideks ning uurida nendele kuluvaid aegu ning selle põhjal välja töötada meetodi, kuidas hinnata tsükliaga ilma simulatsiooni koostamata. See annaks olulist aja kokkuhoidu, eriti tingimustes, kus pakkumisele ei pruugi järgneda tellimust.

Lisaks ilmnes uuringu tulemusena, et vaadeldud haaratsi tüüpidest on vaakumhaarats kiireim ning paralleelhaarats kõige aeglasem. Seega on aegkriitilistes operatsioonides eelistatud vaakumhaarats.

Mõneti ootuspärane on tõdemus, et toote vabastamine haaratsist on väiksema ajakuluga kui toote fikseerimine.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] ISO 8373:2012, „Robots and robotic devices -- Vocabulary“.
- [2] C.-Y. Lin, A. K. Bedaka, „CAD-based robot path planning and simulation using OPEN,“ %1 *International Conference on Robotics and Smart Manufacturing (RoSMa2018)*, Chennai.
- [3] T. Raig, „Kuidas teha robotiseerida,“ *TööstusEST*, 05 2018.
- [4] R. Ojstersek ja B. Buchmeister, „Use of Simulation Software Environments for the Purpose of Production Optimization,“ %1 *Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium*, Vienna, 2017.
- [5] J. Xu, E. Huang, L. Hsieh, L. Hay Lee, Q.-S. Jia & Chun-Hung, „Simulation optimization in the era of Industrial 4.0,“ *Journal of Simulation*, kd. 10, nr 4, p. 320, 2017.
- [6] KUKA AG, „KUKA.Sim,“ KUKA AG, 2020. [Võrgumaterjal]. Available:

- [https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/software/simulation-planning-optimization/kuka\\_sim](https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/software/simulation-planning-optimization/kuka_sim). [Kasutatud 12 1 2020].
- [7] FANUC Corporation, „ROBOGUIDE,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.fanuc.eu/dk/en/robots/accessories/roboguide>. [Kasutatud 13 02 2020].
- [8] ABB, „RobotStudio,“ ABB, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio>. [Kasutatud 15 1 2020].
- [9] B. Brumson, „Robotics Industry Insights,“ Robotic Industries Association, 11 02 2009. [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Robotic-Simulation-and-Off-line-Programming-From-Academia-to-Industry/content\\_id/1825#top](https://www.robotics.org/content-detail.cfm/Industrial-Robotics-Industry-Insights/Robotic-Simulation-and-Off-line-Programming-From-Academia-to-Industry/content_id/1825#top). [Kasutatud 15 10 2019].
- [10] VideoLAN organization, „VideoLAN,“ VideoLAN, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.videolan.org/index.et.html>. [Kasutatud 28 11 2019].
- [11] mederi, „VLC Extensions,“ addons.videolan.org, 11 09 2018. [Võrgumaterjal]. Available: <https://addons.videolan.org/p/1154032/>. [Kasutatud 22 11 2019].
- [12] E. Kokin, Mõõtmised, andmetöötlus ja mudelid põllumajanduses, Tartu: Eesti Põllumajandusülikool, 2003.

## Taastuva elektri energia kasutus Eestis praegu ja tulevikus

R. Tarum

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Tootmistehnika õppekava

**Abstract.** In the XXI century humankind increasingly considers renewable resources as an inevitable replacement for nafta, nature gas and many other non-renewable energy sources. More and more often today's entrepreneurs invest into wind generators, solar panels and wave farms. Even thou the market of renewable energy is a lot smaller and less profitable than the market of oil and coal, current reality shows that the humankind aims to make eco-friendly and green energy production in the nearest future.

The aim of the article is to review the most promising renewable energy sources which are used today in Estonian Republic and to predict the possible ways of increasing the percentage of renewable energy in the whole energy needs. Due to the fact, that Estonian Republic moves in the direction to Põxit and obeys the European Union climate laws, this topic is especially important. According to the Elering data, in the year 2017 82,4% of energy production in the republic was made of oil shale.

**Keywords:** electricity; production of energy; renewable energy; biowaste energy; solar panels; wind energy;

### SISSEJUHATUS

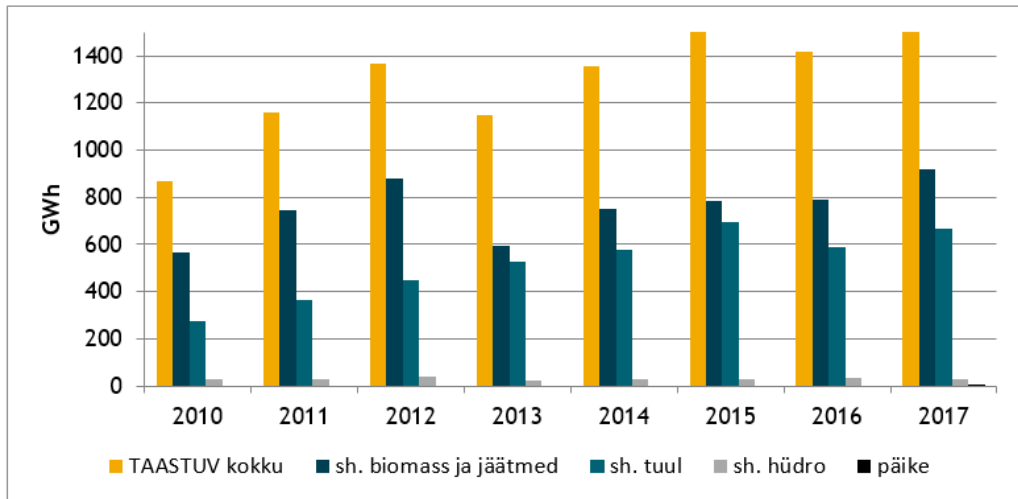
XXI sajandil peab inimkond taastuenergia allikaid vältimatuks asendajaks naftale, metaanile ja paljudele teistele taastumatutele ressurssidele. Üha enam ettevõtjaid tänasel päeval investeerib tuulegeneraatoritesse, päikesepaneelidesse ja lainefarmidesse jms. Kuigi taastuenergia turg on hetkel fossiilkütustest palju väiksem ja ei ole nii kasumlik, näitab hetke olukord, et inimkonnal on soov ja tahe saavutada keskkonnasõbraliku energiatootmist juba käesoleval sajandil.

Antud artikli eesmärk on vaadelda kõige perspektiivsemaid taastuenergia allikaid, mis on hetkel Eestis rakendatud ning prognoosida, kuidas saab suurendada taastuenergia osakaalu kogu elektri energia vajadusest. Seoses sellega, et Eesti liigub Põxit'i suunas ja allub Euroopa Liidu kliimaseadustele. Käesolev teema on eriti terav, kuna Elering'i andmetel aastal 2017 82,4% Eesti energiatootmist oli teostatud põlevkivi baasil. [1]



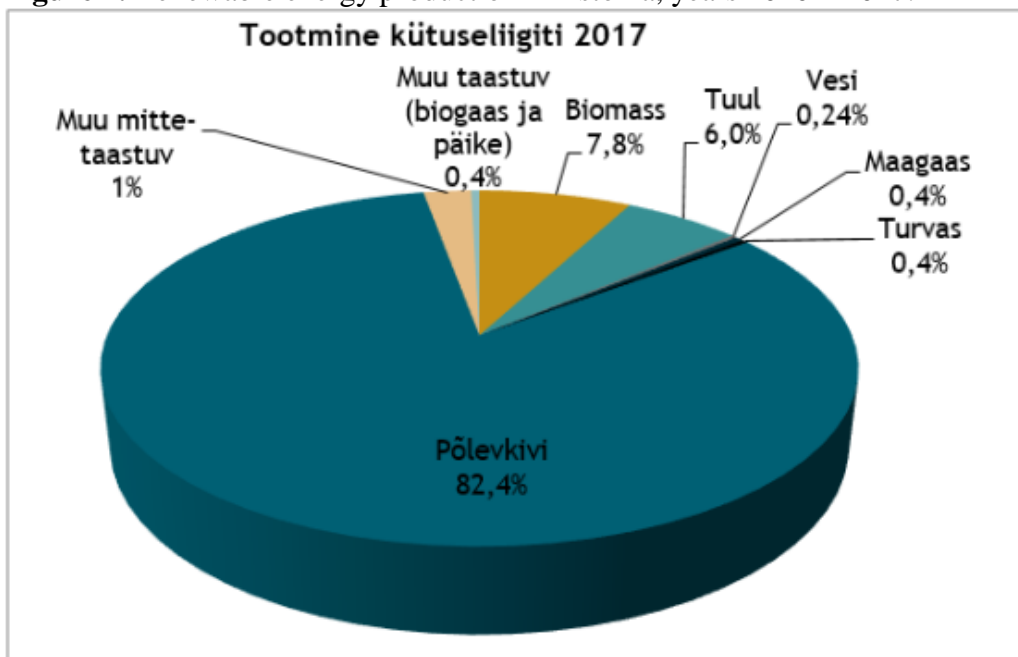
### MATERIAL JA METOODIKA

Elering'i andmetel on tarbimise prognoos aastaks 2020 8277 GWh, millest 1687 GWh, prognoosi järgi, saadakse taastuvenergia allikatest ehk siis ca 20%. [2] Aastal 2019 toodeti 1946 GWh taastuvenergiat. [3] Joonisel 1 ja 2 näeme taastuvenergia osakaalu. Eestis toodetakse enamasti biomassi. Hüdroenergiat ja päikeseenergiat saadakse väga väikesel määral.



**Joonis 1.** Taastuvenergia tootmine Eestis aastatel 2010 – 2017.

**Figure 1.** Renewable energy production in Estonia, years 2010 – 2017.



**Joonis 2.** Eesti elektritoodangu protsentuaalselt jagunemine aastal 2017.

**Figure 2.** Estonian electricity production in percents, year 2017.

Esitatud joonisel 2 andmete järgi, aastal 2017 Eestis suurimateks energia allikateks on:

1. Põlevkivi - 82,4%
2. Biomassi jäätmed - 7,8%
3. Tuul - 6,0%
4. Hüdroenergia - 0,24%
5. Päikeseenergia - <0,4%

Vaatleme siinkohal kõige efektiivsemaid taastuvenergia allikaid:

**Biomassist saadud energia.** Kõige suuremad biomassist elektrit tootvad objektid Eestis on Paide ja Auvere elektrijaam. Paide elektrijaam kasutab madala kvaliteediga metsamaterjali elektri tootmiseks - Toodab 7,5 GWh elektrit aastas.[4] Auvere elektrijaam kasutab taastuvat biomassi energiat osaliselt, asendades sellega kuni 50% ulatuses põlevkivi. Võimekus aga on produtseerida aastas 2.2 TWh, ehk umbes 25% Eesti energiatarbimisest, millest on kuni 1 TWh taastuvenergia. [6]

**Jäätmeenergia.** Energiasaadakse sorteerimata olmeprügi põletamisel. Prügi on samuti taastuvenergia allikaks, kuna prügi iseenesest ei saa otsa. Iru jäätmepõletuselektrijaam toodab elektrit kuni 134 GWh aastas. [4] Põletamisega eraldatakse kuni 82% jäätmetes sisalduvast energiast, see on peaaegu sama protsent nagu põlevkivil. [7]

**Hüdroenergia.** Enefit Green'i andmetel teoreetiline hüdroenergia netopotentsiaal Eestis on kuni 10 MW, mis on üliväike võrreldes teiste energia saamise võimalustega, kuna Eesti jõgede suurus, voolu kiirus ja lame maastikuprofiil ei luba efektiivseid hüdroelektrijaamu ehitada. Aastal 2014 hüdroenergeetika andis ainult 27 GWh. [9]

**Tuuleenergia.** Enefit Green'ile kuulub 20 tuuleparki Eestis ja Leedus, kus töötab 165 tuulikut, mis toodavad aastas ca 1 TWh elektrit, millega saab varustada 330 000 kodu. [4] Aastal 2018 tootsid tuulepargid Eestis 590 GWh elektrit, mis oli 36% taastuvenergia kogutoodangust.

**Päikeseenergia.** Aastal 2016 päikeseenergia tootmine andis 13 GWh elektrit.[10] Eramajade katustele paigutati paneelid. Osa elektrist kasutavad majaomanikud ise ära, osa müüakse võrku. Aastal 2018 oli Eestis installeeritud juba umbes 1200 jaama.

Koostame võrdlustabeli.

Tabelis olevad andmed on umbkaudsed ja on võetud avalikest interneti allikatest. Alltoodud tabeli eesmärk on näidata kui suurt osa taastuva energia tootmisest omab iga energia allikas.

Taastuv energia allikas	Aastane toodang (GWh)	Osa kogu tootmisest (%)
Biomass	~1000	56
Tuulegeneraatorid	~590	33
Jäätmepõletus	~134	8
Hüdroenergia	~27	2
Päikeseenergia	~13	1
Tootmine kokku	~1764	100

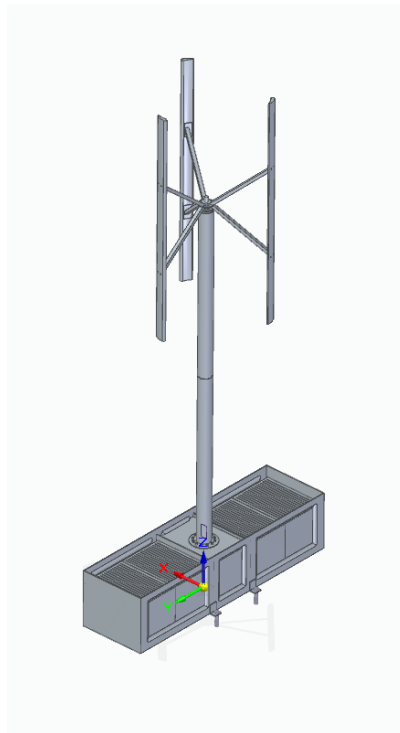
Sellest tulenevalt on praeguse seisuga kõige efektiivsemad taastuvaenergia allikad biomassi energia ja tuuleenergia ning jäätmepõletus üsna väiksel määral. Hüdroenergial suured perspektiivid arenguks puuduvad, seetõttu me antud varianti käesolevas töös väga ei käsitle. Päikeseenergial perspektiivi on ja see osakaal aina kasvab.

### **TULEMUSED JA ARUTELU**

Antud hetkel on Eesti võtnud omale eesmärgiks aastaks 2030 suurendada taastuva energia lõpptarbimise osakaalu kuni 45%. [5] Eesti Energia seadis eesmärgiks juba aastaks 2023 sellise osakaaluni jõuda. [13] Viimastel aastatel see osakaal on umbes 20% ning kasvab.

Eesti taastuvenergeetika osakaal kasvab kiiresti. Selleks on võimalik:

1. Minituulegeneraatorite kasutamine kodumajapidamistes



**Joonis 3.** Minituulegeneraatori 3D mudel.

**Figure 3.** Mini windgenerator 3D model.

Selline lahendus võib sobida nii eramajade omanikele kui ka suurematele kodumajapidamistele, sest iga minituulegeneraator peab eraldi projekteeritud olema, nii, et tuuliku tootlikus ja tema töötingimused oleks kooskõlas. [12]

#### 2. Päikesepaneelide parkide rajamine ja kasutamine kodumajapidamistes

Eestis on liigikaudu 170 000 kodumajapidamist, mis võiks päikesepaneele kasutada energia saamiseks. [11] Hetkel Eesti keskklassi jaoks investeerimine päikesepaneelidesse ei ole piisavalt atraktiivne, sest omahind on veel kallis. Aastate pärast see probleem ei ole enam aktuaalne, kui päikesepaneelide tootjad teevad head reklaami ja meelitavad rohkem kliente. Eesti Energia arvutustel 300 m<sup>2</sup> päikesepaneelide maapark Eestis, võib toota aastas 48,5 GWh energiat. [8] Selliste parkide ehitamiseks on vaja piisavalt ressursi.

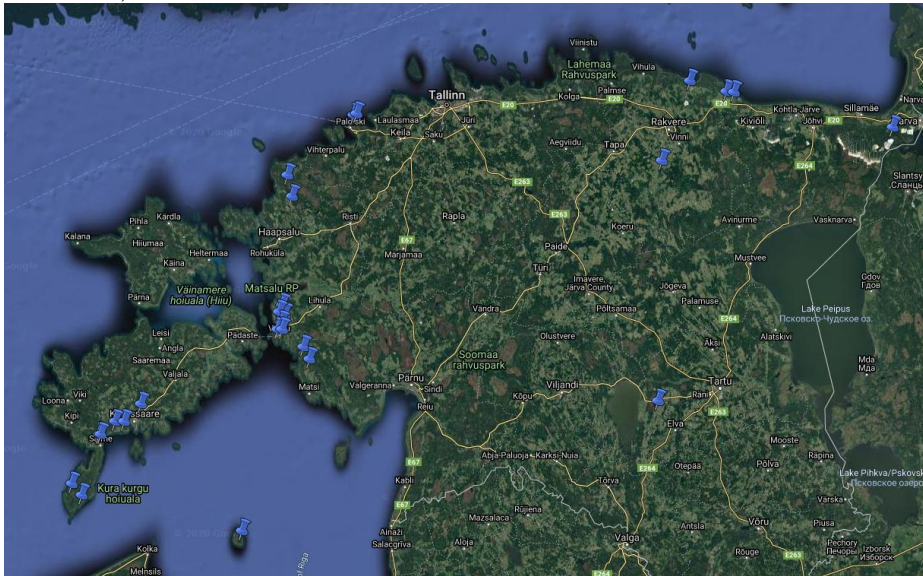
#### 3. Sorteerimata olmejäätmete põletamise võime suurendamine

Eesti Energia andmetel on Iru jäätmeenergiaplokk võimeline taaskasutama üle poole kogu Eestis tekkivast segaolmeprügist ehk 250 000 tonni aastas. [7] Ehk siis sorteerimata prügi Eestis selle haru arendamiseks on veel küll.

#### 4. Tuulegeneraatorite arvu suurendamine

Joonisel 4 on kujutatud Eesti tuuleparkide asukohad kaardil. Vaatamata sellele, et kõige suuremat efektiivsust tootmises saavad tuulegeneraatorid paigutatuna

ranna aladel (tänu eriti tugevale tuulele mere ääres) on uute parkide ehitamiseks veel piisavalt palju maad (kus on n.ö tuulekoridorid. Näiteks Aidu karjäär Ida-Virumaal).



**Joonis 4.** Olemasolev tuuleenergia Eestis seisuga 1. jaanuar 2015.

**Figure 4.** Existing windenergy generators in Estonia for 1. January 2015.

## JÄRELDUSED

Kõige võimsamateks taastuvenergia allikateks osutusid tuulegeneraatorid ja (bio)jäätmepõletusjaamad. Aga on vaja nentida, et päikesepaneelide turg on alles arenemas ja võib kindlalt öelda, et lähimatel aastatel hakkab kiiresti kasvama ning turu positsiooni muutma. Taastuval energeetikal Eestis on perspektiivne tulevik ja arengu jaoks on hetkel vaja enamasti ainult investeerimist. Kõige suurema taastuvenergia osakaalu kogu energiatootmises Eesti saavutab siis, kui suudame elektrit toota kombineerides suuri taastuvenergia allikaid ja eraallikaid nagu minituulikuid ja päikesepaneelid.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Elering AS, „Taastuvenergia tootmisvõimalused Eestis (olemasolev olukord ja tulevikusuunad)“ [Online]. Available: <https://elering.ee/elektrituru-kasiraamat/5-taastuvenergeetika/54-taastuvenergia-toomisvoimalused-eestis-olemasolev> [Accessed 03.04.2020].
- [2] Elering AS, „Taastuvenergia tasu“ [Online]. Available: <https://elering.ee/taastuvenergia-tasu#tab0> [Accessed 03.04.2020]
- [3] Elering AS, „Toodang ja prognoos“ [Online]. Available: <https://elering.ee/toodang-ja-prognoos> [Accessed 04.04.2020]

- [4] Enefit Green, „Energia tootmine“ [Online]. Available: <https://www.enefitgreen.ee/et/energia-tootmine> [Accessed 04.04.2020]
- [5] ERR, „Uuring: Eesti elektritootmise ökoloogiline jalajälg kahanes” [Online]. Available: <https://novaator.err.ee/256168/uuring-eesti-elektritootmise-okoloogiline-jalajalg-kahanes> [Accessed 05.04.2020]
- [6] Eesti Energia AS, „Auvere Power Plant went over from General Electric to Eesti Energia“ [Online]. Available: <https://www.energia.ee/en/uudised/turuylevaated/-/news/2018/08/02/auvere-elektrijaam-laks-general-electric-ule-eesti-energie> [Accessed 04.04.2020]
- [7] Eesti Energia AS, „Elekter ja soojus jäätmetest” [Online]. Available: [https://www.energia.ee/documents/10187/15087/elekter\\_ja\\_soojus\\_jaatmetest\\_a4\\_est.pdf](https://www.energia.ee/documents/10187/15087/elekter_ja_soojus_jaatmetest_a4_est.pdf) [Accessed 04.04.2020]
- [8] Eesti Energia AS, „Päikesepaneelid” [Online]. Available: <https://www.energia.ee/era/taastuenergia/paikesepaneelid> [Accessed 05.04.2020]
- [9] ENMAK 2030/2050 Energiakandjad/Energia muundamiseks kasutatavad ressursid. „Hüdroenergia” [Online] Available: [https://energiatalgud.ee/index.php/H%C3%BCdroenergia\\_ressurss](https://energiatalgud.ee/index.php/H%C3%BCdroenergia_ressurss) [Accessed 05.04.2020]
- [10] Eesti Taastuenergia Koda, „Taastuenergia aastaraamat 2017“ [Online]. Available: <http://www.taastuenergeetika.ee/wp-content/uploads/2018/06/Taastuenergia-aastaraamat-2017.pdf> [Accessed 05.04.2020]
- [11] Kodus, „Eestis on 170 000 potentsiaalset päikeseenergia kasutajat. Järelmaksuga päikeseenergiat!” [Online]. Available: <https://kodus.ee/artikkel/eestis-170-000-potentsiaalset-paikeseenergia-kasutajat-jarelmaksuga-paikeseenergiat> [Accessed 05.04.2020]
- [12] R. Tarum, „Kompakttuulik” Magistritöö; lk 24, 31
- [13] Postimees, „Enefit Greeni toodang kasvas” [Online]. Available: <https://majandus24.postimees.ee/6920978/enefit-greeni-toodang-kasvas> [Accessed 05.04.2020]

## Sõiduki automaatseks juhtimiseks kontrolleri abil ette valmistamine

O. Tors, I. Virro

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

**Abstract.** The farming processes would benefit in processes which can be held with automated vehicles and machines. Automated processes can be pre-programmed or autonomous and the machines must have capability to be guided by the computer algorithm. The aim of this report is to define the components and processes for making vehicle capable driving from programmable logic controller.

**Keywords:** electric power steering, electric vehicle, programmable logic controller, agriculture vehicles

### SISSEJUHATUS

Käesolev artikkel loob ülevaate sõiduki elektriliseks juhtimiseks vajalikest süsteemi moodulitest ning analüüsib võimalikkude lahendite efektiivsust. Antud lahend on mõeldud kasutamiseks universaalselt põllumasinate juhtimise platvormil, andes sellega põllumajandusele lisandväärtust automatiseerituna.

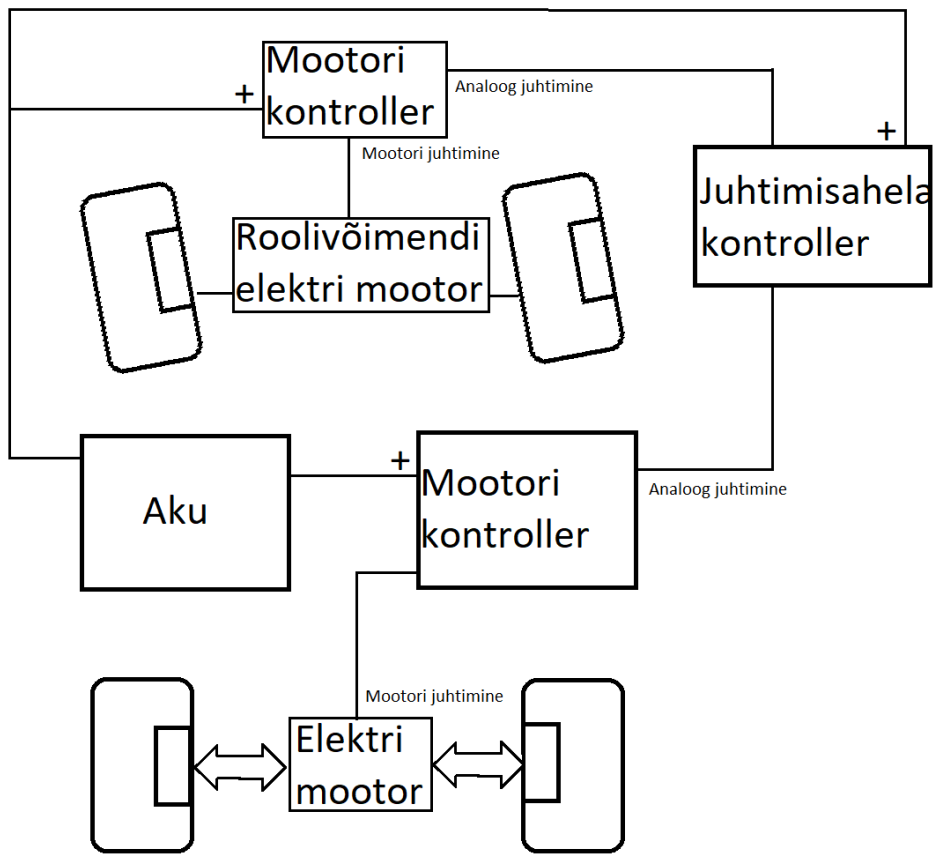
Sõiduki automatiseeritud juhtimiseks arvuti abil ettevalmistamine on sõidukile juhtimise valmiduse loomine arvuti või kontrolleri abil üle elektriliselt loodud silla. Selleks on vajalik paigaldada sõidukile roolisamba juhthoobasid manipuleeriv ja/või ratta pöörlemis kiirust reguleeriv elektrimootor või ka hüdrauliline ajam. Vastavat sõidusuunda manipuleerivat ajamit peab olema võimalik juhtida elektriliselt.

Vastava lahenduse loomisel tuleb arvestada, et antud juhul on sõiduki töökeskkond ebatasane põllupind ning seetõttu võib sõidusuuna hoidmine ebatasasuse tõttu vajada sõidu ajal täiendavaid korrigeerivaid suuna muudatusi.

Arvesse tuleb võtta juhtimise valmiduse ehitamisel, et programmiselt on kõige lihtsam juhtida lineaarseid väärtuseid.

### MATERIAL JA METOODIKA

Lahendusel lähenetakse põllumajandus sõidukitele nende tavapäraseid ja üldlevinud juhtimisviise arvestades ning nende protsesside automatiseerimise võimalustest.



Joonis 6. Sõiduki elektrilise juhtimise komponendid

Sõiduki juhtimisel on vaja tagada neli võimekust:

Sõidusuuna muutmine – Rataste väljapööratust peab olema võimalik juhtida elektriliselt ning ka kontrollida nende nurka.

Kiiruse reguleerimine – Kiirust peab olema võimalik reguleerida võimalikult lineaarselt.

Pidurdamine – Pidurdamine on veo mootori kontrolleri abil, mis vähendab kiirust sõltuvalt mootori kontrolleri ette antud pöörete arvule, mida mootori kontrolleri hoidma peab.

Juhtimise konsool – Sõidukile tuleb tagada võimekus, juhtimaks liikumiseks vajalikke protsesse ühe kontrolleri abil.

Vaja on kasutada süsteemis komponente, mis hõlbustaksid ehituse protsessi ning on ka laialdaselt saadaval.

## TULEMUSED JA ARUTELU

Ehitamise aluseks on võetud elektrilise veo mootoriga valmistatud ATV, mis on lenkstangidest käsitsi rattaid pöörav.

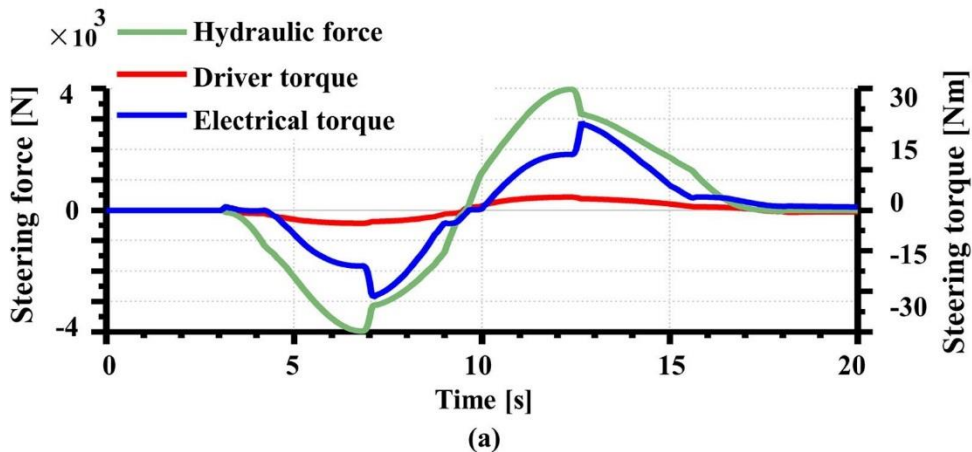


Seega vajalik on lahendada juba olemasoleva sõiduki pööramise juhtimine elektriliselt. Selleks on võetud sõiduki mudelile pakutav universaalne elektriline roolivõimendi. Roolivõimendit juhib kontrolleri, mille sisendiks on roolisamba vahel oleva väänet lubava lüli deformatsiooni andur. Deformatsiooni andur koosneb neljast suunalist deformatsiooni mõõtvast andurist, mis on seatud mõõteahelasse *Wheatstone*'i sillana. Kontrolleri väljundiks on sisendi mõõteväärtuse langemise või tõusmise teel saadud erinevus muudetakse vastavasuunaliseks võimendatavaks elektrivooluks elektrimootorile, mis siis pakub abi juhthoova asendi hoidmisel.

Roolivõimendi sisendite mõõteväärtuste manipuleerimisel selle väärtuse tõstmise või langetamise teel saab vastavasuunalist elektrilist võimendust pakkuda ka välise kontrolleri juhtimisel. Nii säilib sõidukil võimekus olla juhitud nii roolisambast mehhaaniliselt kui ka väliste elektriliste manipulaatorite abil.

Ratastele suuna andmiseks rooli võimendi abil selles lahenduskäigus on vajalik kontrolleri ette anda võimendatav elektri vool elektrimootorile, mis avaldab jõudu juhthoovastikus rataste pööramisele. Antud lahenduskäigus on vajalik mõõta rataste või roolisamba pöördeasendit ning hoida vastavasuunalist võimendust juhthoovastikule, et püsida ette antud pöörde nurga asendi läheduses. See on vajalik kuna keskkond, milles sõidetakse ei ole ideaalne tasapind ning ratastele mõjuvad jõud liikumisel avalduvad ka juhthoovastikus.

Roolivõimendi süsteemis võib kasutada lisaks elektrimootorile ka hüdraulilist juhtimise manipuleerimist, mis annab eelise rataste pööramisel võimendatava jõu poolest. [1]



Joonis 2. Hüdraulilise- ja elektrilise roolivõimendi jõudude võrdlus roolimisel. Allikas: [1]

Sõiduki edasi ja tagasi liikumiseks on sellel elektri mootor, mille jõuahela kontrolleri sisenditeks on kiirust reguleeriv muutuvväärtusega potentsiomeeter ning suunda andev binaarse väärtusega lüliti. Kuna vajalikud juhtsignaalid kontrolleri juhtimiseks on olemas, saab teise kontrolleri väljundeid kasutada mootori kontrolleri sisendite signaalide manipuleerimiseks.

### JÄRELDUSED

Automaatse süsteemi toimimiseks on kontrolleri jaoks vajalik luua ühendus oma mõjutatavate seadmete vahel. Lisaks sellele on vajalik teada oma mõjutatavate seadmete olekuid, nii asendit kui ka kiirust.

Järgmise sammuna saab tagada võimekuse autonoomseks juhtimiseks kontrolleri abil, mille lahendamiseks läheb tarvis keskkonda kaardistavat andurite süsteemi (nt. kaamera, aktseleromeeter ...).

Valmis lahendustega elektrimootorite süsteemidega ning kontrolleri juhtimise signaalide edastamiseks vajaliku juhtmestiku valmistamisel on võimalik tagada valmidus ühe kontrolleri abil sõiduki liikumiseks vajalike jõudude manipuleerimine.

### KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] College of Energy & Power Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China, "Energy analysis and optimization design of vehicle electro-hydraulic compound steering system," [Online]. Available online: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113713>. [Accessed 11 4 2020].
- [2] Conference Proceedings IEEE SOUTHEASTCON, "Components of an autonomous all-terrain vehicle," [Online]. Available online: [https://www.researchgate.net/publication/224133317\\_Components\\_of\\_an\\_autonomous\\_all-terrain\\_vehicle](https://www.researchgate.net/publication/224133317_Components_of_an_autonomous_all-terrain_vehicle). [Accessed 11 4 2020]
- [3] IEEE Explore, "System Integration over a CAN Bus for a Self-Controlled, Low-Cost Autonomous All-terrain Vehicle," [Online]. Available online: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9020379>. [Accessed 11 4 2020]